UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL,
ARQUITETURA E URBANISMO.

Conservação de Energia em Edifícios Comerciais através da Implementação de Dispositivos de Automação

Marcone Susumu Gomazako

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Mariotoni

Campinas, SP
2007

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL,

ARQUITETURA E URBANISMO.

Conservação de Energia em Edifícios Comerciais através da Implementação de Dispositivos de Automação

Marcone Susumu Gomazako

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Mariotoni

Tese de Doutorado apresentada à Comissão de pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil, na área de concentração de Recursos Hídricos, Energéticos e Ambiente.

Campinas, SP
2007

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

G585c

Gomazako, Marcone Susumu
Conservação de energia em edifícios comerciais através da implementação de dispositivos de automação / Marcone Susumu Gomazako.--Campinas, SP: [s.n.], 2007.

Orientador: Carlos Alberto Mariotoni
Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

1. Edifícios inteligentes. 2. Automação. 3. Arquitetura e conserveção de energia. 4. Energia elétrica - Conservação. I. Mariotoni, Carlos Alberto. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

Título em Inglês: Conservation of energy in commercial buildings through the implementation of automation devices.
Palavras-chave em Inglês: Automation devices, Energy efficiency, Air conditioning system
Área de concentração: Recursos hídricos, energéticos e ambientais
Titulação: Doutor em Engenharia Civil
Banca examinadora: Marcos A. P. Saramago, Paulo S. F. Barbosa, Ricardo Rodrigues Martini, Frederico F. Mauad.
Data da defesa: 23/10/2007
Programa de Pós-Graduação: Engenharia Civil

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL,
ARQUITETURA E URBANISMO.

Conservação de Energia em Edifícios Comerciais através da Implementação de Dispositivos de Automação

Marcone Susumu Gomazako

Tese de Doutorado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:

Prof. Dr. Carlos Alberto Mariotoni
Presidente e Orientador
FEC- UNICAMP

Prof. Dr. Marcos A.P. Saramago
FEM -UNICAMP

Prof. Dr. Paulo S. F. Barbosa
FEC – UNICAMP

Prof. Dr. Ricardo Martini Rodrigues
UNESP – Bauru

Prof. Dr. Frederico F. Mauad
USP – São Carlos

Campinas, 23 de outubro de 2007

200802266

Resumo

Este trabalho vem apresentar um panorama do sistema elétrico geralmente encontrado em construções comerciais de grande porte, com cerca de trinta anos de funcionamento, que operam de forma pouco eficiente para os parâmetros atuais, principalmente no seu sistema de ar condicionado central.

Nessa construção (estudo), seu sistema de condicionamento ambiental representa um acréscimo na demanda energética de cerca de 60%, passando de 450.000 kWh/mês para 750.000 kWh/mês, e a troca desses equipamentos por mais modernos e eficientes, significaria grandes investimentos, tornando-se inviável no curto prazo.

Com isso, elaborou-se um protótipo contendo dispositivos de automação, que podem ser incorporados ao sistema existente, sem grandes dificuldades, e minimizando os custos operacionais com o sistema. Esses dispositivos permitem um monitoramento mais eficiente, sem a necessidade desses investimentos, como a substituição de grandes equipamentos (compressores, *chillers*, etc.) que fazem parte do sistema de ar condicionado central.

Esse protótipo permitiu demonstrar que com a aplicação desses dispositivos incorporados nesses sistemas, podem gerar uma economia de cerca de 20% no consumo de energia elétrica, que representa uma economia bastante significativa de 60.000 kWh/mês (neste caso) quando operado o sistema de ar condicionado, além de aliviar os recursos humanos disponibilizados para esse tipo de monitoramento.

Palavras Chaves: dispositivos de automação, economia de energia, sistema de ar condicionado central.

Abstract

This work comes to present a panorama of the electric system found usually in commercial constructions of great load, with about thirty years of operation, that operate in way a little efficient for the current parameters, mainly in her air conditioning system.

In that construction (in study), her system of environmental conditioning represents an increment in the energy demand of about 60%, passing to the 450.000 kWh/month for 750.000 kWh/month, and the change of those equipments for more modern and efficient, it would mean great investments, becoming unviable in the short period.

With that, a prototype was elaborated containing automation devices, that can be incorporate to the existent system, without great difficulties, and minimizing the operational costs with the system. Those devices allow a more efficient monitoring, without the need of those investments, as the substitution of great equipments (compressors, chillers, etc.) that they part of the system of air conditioned central.

That prototype allowed to demonstrate that with the application of those incorporate devices in those systems, they can generate an economy of about 20% in the electric power consumption, that represents a quite significant economy of 60.000 kWh/month, (this case) when operated the system of conditioned air, besides relieving the human resources made available for that monitoring type.

Key words: automation devices, saving energy, air conditioning system.

Dedicatória

À Jesus Cristo e Nossa Senhora

Pela sabedoria, inspiração, saúde e proteção durante toda minha vida.

A minha querida esposa e filho (meus tesouros)

Por todo amor, dedicação e conforto durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus Pais e Avós

Pelo sacrifício enfrentado em nova pátria, luta, dedicação e incentivo aos estudos dos filhos e netos, apesar das dificuldades, sempre estimulando o conhecimento e novos desafios, acreditando que a educação leva ao desenvolvimento intelectual e pessoal.

Agradecimentos

"Nunca poderemos ser suficientemente gratos a Deus, a nossos pais e aos nossos mestres" *(Aristóteles)*

Ao grande amigo e orientador Dr. Carlos Alberto Mariotoni, pela orientação, amizade, paciência, crédito, estímulo, compreensão e amizade.

Ao meu querido pai "*in memoriam*", pelo grande sacrifício, dedicação, luta, compreensão e estímulo aos estudos.

A minha esposa, pelo amor, dedicação e compreensão durante todos esses 23 anos de convivência em família.

Aos Profs. Dr. Antonio Carlos Demamboro, do Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura, e Dr. Marcos Antonio Porta Saramago, do Departamento de Engenharia Mecânica da Unicamp, pelo empenho e auxilio no desenvolvimento desse trabalho,

Ao CEFET São Paulo (Centro Federal de Educação Tecnológica de São Paulo), pelo estímulo e apoio na capacitação deste servidor, no desenvolvimento desse trabalho,

Aos colegas e professores do Cefet de São Paulo, Profs. Milton Carlos, Msc.Cambraia, Msc.José Carlos e Msc.Cíntia do Dep. de Eletrotécnica, em especial aos Dr.João Virgilio Merighi, Dr.Rita M. Fortes, Dr. Antonio Carlos de Bragança, ao Dep. Construção Civil, pela amizade e estímulo, e outros que me apoiaram no desenvolvimento deste trabalho.

Ao Eng. MSc Mauricio, da HI Tecnologia, pela confiança e cessão do dispositivo eletrônico CLP ZAP 500 ZEM 400, na simulação do sistema de ar condicionado central, de vital importância no desenvolvimento o protótipo.

Ao Carrefour, em especial o Sr. Natal, Gerente de Manutenção da loja avaliada, e ao Sr. Victor, gerente de departamento, que permitiram a realização de coleta de informações da loja Carrefour Dom Pedro, desse trabalho

A todas as pessoas que direta ou indiretamente que contribuíram em todas as formas de meu aprendizado.

Sumário

Resumo iv

Lista de figuras.....v

Lista de tabelas vi

Abreviaturas vii

1 - Introdução 1

2 – Objetivos 7

3 - Revisão Bibliográfica 11

3.1 – Panorama Energético Brasileiro.....12

3.2 – A participação do gás natural na matriz energética 25

3.3 – Investimentos no setor energético 34

4 – Sistema de Automação Predial 41

4.1 - Conceito de Edifício Inteligente 46

4.2 – Funções Domóticas e Classificação.....50

4.2.1 – Função de Gestão.....50

4.2.2 – Função de Controle.....51

4.2.3 – Função de Comunicação.....51

4.2.4 – Redes Domóticas e padronização..... .52

4.2.5 - Principais Padrões utilizados em Redes Domóticas 52

4.3 – Evolução da Automação Predial 55

4.3.1 – A incorporação de novos conceitos 58

4.3.2 – O Cabeamento Estruturado 60

4.3.3 – Principais Elementos de um Sistema Predial 65
4.3.4 – O Retrofit de Edifícios 66
4.3.4.1 – Levantamento 66
4.3.4.2 – Comunicação entre os Diferentes Sistemas 67
4.3.4.3 – Interface com Equipamentos Existentes 68
4.3.4.4 – Retorno do Investimento através do retrofit.....69
4.3.5 – Sistemas Automatizados 70
4.3.5.1 – Simulação e Modelagem de Sistemas Automatizados 71
4.3.5.2 – Modelagem de Sistemas Dinâmicos 73
4.3.5.3 – Elementos de um Sistema Automatizado 75
4.3.6 – Linguagens utilizadas para Modelagem de Sistemas Automatizados 78
4.3.7 – Norma Internacional IEC 61131-3 82
4.3.8 – Programação Estruturada em CLP’s utilizando GRAFICET 86
4.3.9 – Elementos do GRAFCET 88
4.3.10 – Etapas do GRAFICET 89
4.3.10.1 – Tipos de ações associadas às Etapas 91
4.3.11 – Transições e Receptividade 91
4.3.11.1 – Principais Funções Associadas às Receptividades 93
4.3.11.2 – Ligações Orientadas 93
4.3.12 – Salto de Etapas 96
4.3.13 – Retorno de Etapas 97
4.3.14 – Regras de Evolução 97
4.4 – Modelagem de Sistemas Automatizados utilizando Redes de Petri 100
4.4.1 – Sistemas Automatizados 101

4.4.2 – Ciclo de Vida de um Sistema Automatizado 102
4.4.3 – Sistemas de Eventos Discretos 103
4.5 – Redes de Petri 107
4.5.1 – Redes de Petri – Conceitoe Básicos e Definições.....112
4.5.2 – Representação das Redes de Petri 113
4.6 – Projeto da Arquitetura de Comando 119
4.6.1 – Arquitetura Funcional 119
4.6.2 – Arquitetura Material 122
4.6.3 – Arquitetura Operacional 123
4.7 – Validação do Comportamento Temporal através de RdP 124
4.8 – Arquitetura de Supervisão e Controle de Redes de Comunicação 126
4.8.1 – Sistema de Supervisão e Controle 128
4.8.2 – Características dos Sistemas Supervisórios 130
4.8.2.1 – O Controle Supervisório 132
5 – Materiais e Métodos – Estudo de caso (Hipermercado) 133
5.1 – Metodologia 137
5.1.2 – Sistema de Alimentação de Energia Elétrica 141
5.2 – Frio Alimentar 148
5.2.1 – Balcões Frigoríficos 151
5.3 – Sistema de Ar Condicionado Central 155
5.4 – Sistema de Iluminação Artificial 165
5.5 – Proposta de Automação 167
5.5.1 – Controlador Lógico Programável ZAP 500 com modulo de expansão.....168
5.5.2 – Inversor de Freqüência CFW 08 – WEG 172

5.5.3 – Multímetro Digital Minipa ET – 2976 173

5.6 – Simulação através do protótipo 174

6 – Resultados.....179

7 – Conclusão 183

8 – Bibliografia 187

9 – Anexo 195

Lista de Figuras e Gráficos

Figura 1.1 – Maiores preocupações da população da cidade de S. Paulo..... .5

Figura 1.2 – Brasil – país com maior índice de criminalidade 5

Figura 3.1.1 – Maiores Geradores de Energia Eletrica..... 13

Figura 3.1.2 – Oferta Interna de Energia (2006)..... 14

Figura 3.1.3 – Matriz Energética Brasileira (2005)..... 15

Figura 3.1.3 – Estrutura de Oferta Interna de E. E. no Brasil..... 16

Figura 3.1.4 – Consumo Energético Nacional (1973-2004)..... 16

Figura 3.1.5 – Hidrelétrica de Itaipu (Brasil-Paraguai).....17

Figura 3.1.6 – Oferta Interna de Energia Elétrica no Brasil (2005).....18

Figura 3.1.7 – Potencial Hidrelétrico Brasileiro (2005).....19

Figura 3.1.8 – Dependência Externa de Energia(1793-2003).....20

Figura 3.1.9 – Matriz Energética Mundial x Matriz Energética Brasileira (1989).....22

Figura 3.1.10 – Matriz Energética Mundial (1973-2003).....23

Figura 3.1.11 – Percentual de Biodiesel no Óleo Diesel.....24

Figura 3.2.1 – Concessionárias de distrib.GN 25

Figura 3.2.2 – Plataforma Sub.Campos 26

Figura 3.2.3 – Reservas de GN Brasil 27

Figura 3.2.5 – Sistema de cogeração à gás 30

Figura 3.2.6 – Evolução do consumo de e.e Estado de S.Paulo 33

Figura 3.3.1 – Principais Fontes de Energia Elétrica do Brasil 38

Figura 3.3.2 – Consumo de energia elétrica setorial 40

Figura 4.1 – Sistema de Controle Industrial 44

Figura 4.1.1 – Lloyds Building 48

Figura 4.2.2 – Citibank – Avenida Paulista 49

Figura 4.3.1 – Edifícios com Sistemas de Monitoramento Remoto.....59

Figura 4.3.2.1 - Cabeamento estruturado 61

Figura 4.2.2.2 – Sistema de cabeamento horizontal e vertical 62

Figura 4.3.2.3 – Evolução dos sistemas integrados 63

Figura 4.2.2.4 – Sistema de Monitoramento Predial..... .64

Figura 4.3.5.2.1 – Classificação Geral de Sistemas 75

Figura 4.3.5.3.1 – Sistema Automatizado 77

Figura 4.3.6.1 – Automatismo Combinatórios ..... .78

Figura 4.3.6.2 – Automatismo Seqüencial 78

Figura 4.3.7.1 – Programação utilizando Lista de Instruções 83

Figura 4.3.7.2 – Telas típicas de Diagramas Ladder 84

Figura 4.3.7.3 – Diagramas de Blocos de Funções 85

Figura 4.3.7.4 – Exemplos de telas de programação utilizando SFC 85

Figura 4.3.8.1 – Implementação de uma transição utilizando Ladder 87

Figura 4.3.9.1 – Esquema ilustrativo de um GRAFCET 88

Figura 4.3.10.1 – Etapas e Ações de um GRAFCET 90

Figura 4.3.10.2 – Ação Condicional num GRAFCET 91

Figura 4.3.11.1 – Transição e Receptividade de um GRAFCET 92

Figura 4.3.11.2 – Exemplo de Temporização num GRAFCET 93

Figura 4.3.11.2.1- Ligações Orientadas Seqüenciais 94

Figura 4.3.11.2.2 – Ligação Orientada AND Divergente 94

Figura 4.3.11.2.3 – Ligação orientada AND Convergente 95

Figura 4.3.11.2.4 – Ligação orientada OR Divergente 95

Figura 4.3.11.2.5 – Ligação orientada OR Convergente 96

Figura 4.3.12.1 - Representação de um salto de etapas 96

Figura 4.3.13.1 - Retomada de etapas 98

Figura 4.3.14.1 – Regras de Evolução de um GRAFCET 100

Figura 4.4.1 – Caracterização de um sistema nas partes mestre/escravo..... 101

Figura 4.4.2.1 – Diagrama de Atividades de AS 103

Figura 4.4.3.1 – Exemplo de Sistema de evento discreto 105

Figura 4.5.1 .1 – Utilização de rede Petri 112

Figura 4.5.2.1 – Rede de Petri marcada I..... 114

Figura 4.5.2.2 – Rede de Petri marcada II 116

Figura 4.5.2.3 – Marcação resultante do disparo 117

Figura 4.5.2.4 – Rdp onde número de marcas em qualquer lugar lim..... 118

Figura 4.6.1 – Modelo Esquemático de arquitetura funcional..... 112

Figura 4.6.2.1 – Exemplo de arquitetura material..... ... 121

Figura 4.6.3.1 – Exemplo de arquitetura operacional 123

Figura 4.7.1 – Projeção do modelo de um tratamento de CLP 125

Figura 4.8.1 – Controle Supervisório 128

Figura 4.8.2.1 – Principais características de um sistema supervisório..... 130

Figura 4.8.2.2 – Sistema supervisório de Hipermercado 131

Figura 5.1 – Diagrama Unifilar do Sistema de Alimentação da Loja 133

Figura 5.1 – Hipermercado Carrefour 134

Figura 5.1.1 – Registrador RMS Marh 21 138

Figura 5.1.2 – Coleta de dados- barramento 139
Figura 5.1.3 – Diagnostico do transformador principal 140
Figura 5.1.2.1 – Transformador principal 1000 kVA 141
Figura 5.1.2.2 – Painel de controle do transformador II 142
Figura 5.1.2.3 – Grupo gerador 142
Figura 5.1.2.4 – Sistema de Medição Remota 143
Figura 5.1.2.5 – Esquema de funcionamento de supervisão e.e 143
Figura 5.1.2.6 – Consumo geral da loja principal 144
Figura 5.1.2.6 – Medidor de energia do locatário 146
Figura 5.1.2.7 – Sistema de No-brake 146
Figura 5.1.2.8 – Diagnostico registrado do transformador II..... 147
Figura 5.2.1 – Cadeia de frios 149
Figura 5.2.2 – Condições de conservação de alimentos 150
Figura 5.2.3 – Área de preparação de alimentos 151
Figura 5.2.1.1 – Balcão expositor com cortina retrátil 152
Figura 5.2.1.2 – Sistema de contenção dos balcões expositores 152
Figura 5.2.1.3 – Câmara fria 153
Figura 5.2.1.5 – Diagnóstico do Frio Alimentar 154
Figura 5.3.1 – Esquema genérico de sistema de ar condicionado 157
Figura 5.3.2 – Sistema de ar condicionado de água gelada 158
Figura 5.3.3 – Tanque de água gelada e torre de resfriamento 159
Figura 5.3.4 – Chiller de ar condicionado 160
Figura 5.3.5 – IHM do ar condicionado 161
Figura 5.3.6 – Painel de CLP 161

Figura 5.3.7 – Consumo médio de e.e prédio comercial 162

Figura 5.3.8 – Diagnóstico do Sistema de Ar Condicionado Central 163

Figura 5.4.1 – Iluminação artificial 165

Figura 5.4.2 – Quadro de dispositivo 166

Figura 5.4.5 – Painel de supervisão no monitor 166

Figura 5.5.1 – Protótipo 168

Figura 5.5.1.1 – Configuração de Controlador ZAP 500..... 169

Figura 5.6.1.2 – Painel CLP ZAP 500 170

Figura 5.6.1.3 – Portas de comunicação CLP 171

Figura 5.6.1.4 – Esquema de ligação da termoresistência 171

Figura 5.6.2.1 – Diagrama de inversor de freqüência CFW 08 172

Figura 5.6.2.2 – *Fancoil e damper* 173

Figura 5.6.3 – Tela de gráfico do multímetro e PC 174

Figura 5.6.3.1 – Gráfico Temperatura x Tempo 175

Figura 5.6.3.2. – Diagrama do sistema de controle 175

Figura 5.6.3.3 – Sistema de circulação de água gelada 176

Figura 5.6.3.4 – Aplicação de inversores em fancoils 177

Figura 7.1 – Expansão da Oferta de Energia Elétrica no Brasil..... 182

Figura 7.2 – Custo da energia 183

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Consumidores de GN no Estado de São Paulo.....31

Tabela 2 – Consumo por consumidor – média mensal de GN 31

Tabela 3 – Capacidade Instalada e Empreendimentos em operação e construção 36

Tabela 4 – Classes de Sistemas Dinâmicos 73

Tabela 5 – Norma IEC 61131 82

Tabela 6 – Registro da Demanda do Transformador Principal..... 144

Tabela 7 – Evolução dos Compressores de Ar Condicionado.....157

Tabela 8 – Registro de Demanda do Sistema de Ar Condicionado Central.....162

Abreviaturas

A – Ampére

a.a – ao ano

ABCI – Associação Brasileira da Construção Industrializada

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRAVA – Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

ANP – Agência Nacional de Petróleo

ASHRAE – *American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditining engeneers*

BEM – Balanço Energético Nacional

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Social

CC –Custo de Conexão

CCEE – Câmara de Comercialização de Energia Elétrica

Cebus – Consumer Electronic Bus

CEIC – Centro Empresarial Itaú – Conceição

Cemig – Companhia Energética de Minas Gerais

CFTV – circuito fechado de TV

CLP – Controlador Lógico Programável

CO_2 – dióxido de carbono

CPFL – Companhia Paulista de Força e Luz

CSMA/CA – *Carrier Sense Multiple Acess/ Collision Avoidance*

CSMA/CD – *Carrier Sense Multiple Acces/ Collision Detection*

CV – Cavalo Vapor

EIB – *European Installation Bus*

EIBG – *European Intelligent Building Group*

EPUSP – Escola Politécnica da USP

EUA – Estados Unidos da América

FDB – *Function Block Diagram*

FMI – Fundo Monetário Internacional

FPS – Fora de Ponta Seca

FPU – Fora de Ponta Úmida

GLD – Gerenciamento do Lado da Demanda

GWh – Giga Watt hora

Hz – Hertz

I/O – *Imput/Output*

IBI – *Intelligent Buildings Institute*

IBSC – *Intelligent Building Study Committee*

IEC – *International Electrotechnical Committee*

IHM – Interface Homem Máquina

IL – *Instruction List*

Kbps – kilo bite por segundo

kVA – kilo Volt ampere

kvar – kilo Volt ampere reativo

kW – kilo Watt

kWh – kilo Watt hora

LD – Diagrama Ladder

LEE – UERJ – Laboratório de Engenharia Elétrica – Universidade Estadual do Rio de Janeiro

MAE – Mercado Atacadista de Energia Elétrica

Mbps – Mega bite por segundo

MME – Ministério da Minas e Energia

NO_x – Monóxido de nitrogênio

^oC – Grau centígrado

PC – Parte Comando

PC – Personal Computer

PCH – Pequenas Centrais Hidrelétricas

PIB – Produto Interno Bruto

PLD – Preço de Liquidação de Diferenças

PO – Parte Operativa

PPP – Parceria Público Privado

PROALCOOL – Programa Nacional do Álcool

PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

PS – Ponta Seca

PU – Ponta Úmida

RdP – Rede de Petri

SA – Sistema Automatizado

SCADA – *Supervisory Control And Data Acquisition* – Sistema de Supervisão e Controle

SED – Sistemas de Eventos Discretos

SFC – *Sequential Function Chart*

ST – *Structured Text*

TR – Tonelada de Refrigeração

TUSD – Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição

TUST – Tarifa de Uso do Sistema de Transmissão

TWh – Terá Watt hora

V – volts

V – Volts

1 - Introdução

No mundo contemporâneo a busca pela eficiência, produtividade, conforto, segurança e qualidade nos serviços prestados aos usuários de bens e serviços, são as principais condicionantes para conservação e atração de novos clientes, e a infraestrutura é parte importante desse processo. Para se conseguir esses objetivos tem-se que necessariamente considerar novos conceitos e diferentes técnicas a serem aplicadas na modelagem dos sistemas prediais, além do aproveitamento eficiente dos recursos da tecnologia atuamente disponivel.

O rápido desenvolvimento tecnológico na área da eletrônica, computação e sistemas da informação nas últimas décadas, tem viabilizado aplicações interessantes e importantes em todos os segmentos da sociedade, que num primeiro instante chocam pelo ineditismo, mas rapidamente se incorporam no dia a dia das pessoas, passando a ser condicionante da sociedade contemporânea.

Assim foi com o relógio de pulso que de analógico passou a ser digital, o computador de válvulas de uso corporativo de grandes dimensões ao computador pessoal (PC's) e *notebooks*, de maior velocidade, precisão e armazenamento de dados, e dispositivos de automação aplicados em processos industriais proporcionando produtividade, redução de custos e qualidade aos produtos manufaturados.

Em principio, qualquer grandeza fisica pode ser controlada, isto é, pode ter seu valor intencionalmente alterado. Obviamente, há limitações práticas, uma das inevitáveis é a restrição da energia que dispomos para afetar os fenômenos: por exemplo, a maioria das variáveis climatológicas pode ser medida, mas não controlada, devido a ordem de grandeza da energia, mas podem ser prevista com certa antecedência, a ponto de se evitar determinadas panes no sistema.

O controle manual implica em se ter um operador presente no processo de uma variável física e que de acordo com a necessidade e conhecimento, opera uma dispositivo qualquer (válvula, alavanca, chave...) produzindo alterações nesse processo.

Inicialmente os sistemas de automação foram desenvolvidos para aplicações em processos industriais, mais especificamente na indústria automobilística, conforme o grupo coordenado pelo Laboratório de Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro at al. O desenvolvimento do Controlador Lógico Programável – CLP, foi realizado em 1968, pela equipe de engenheiros da General Motors, devido a grande dificuldade de mudança da lógica de controle dos painéis de comando na linha de montagem, que implicavam grande empenho de tempo e dinheiro.

Posteriormente essa automação migrou para toda indústria manufatureira, mas somente a partir da década de 80, conforme Souza (2004), at al, essa tecnologia da automação e supervisão começa a ser aplicada de uma forma mais abrangente nas construções industriais, comerciais e residenciais, auxiliando o processo de gestão dos sistemas prediais: insumos energéticos, segurança, transporte, climatização, e outros componentes integrados a edificação, Gonsalves (2005).

Atualmente, essa tecnologia possui diversas aplicações em várias atividades, onde a popularização de produtos eletro-eletrônicos vem sendo absorvido por praticamente todas camadas sociais, onde tem gerado aumento significativo na demanda de energia elétrica em todo mundo, e um novo panorama tem surgido no setor de energia, onde os investimentos são focados em políticas de conservação de energia elétrica.

Investimentos estes, não somente do setor governamental, mas também das concessionárias de energia, preocupadas com a continuidade no atendimento aos seus consumidores e a preservação de sua capacidade limitada de geração, seja pelos insumos das termelétricas não renováveis, seja pela limitação da capacidade dos reservatórios, sujeitos as condições climáticas, ou mesmo buscando novas alternativas, pouco conhecidas ou inviáveis no curto prazo, no suprimento de energia.

Assim, a conscientização da conservação de energia elétrica, mesmo que teoricamente contrária ao principio de busca dos lucros, deverá ser uma prática não somente do consumidor, mas também estimulada pelas empresas do setor, visando a manutenção e atendimento de seus mercados.

A principio, existe uma relação direta entre aumento de consumo de energia elétrica e aumento de PIB (Produto Interno Bruto), conforme Sawhill & Cotton (1986). Mas deve-se freiar o consumo de energia mesmo com o PIB em crescimento. Em países como os EUA e Japão, o crescimento de energia elétrica foi menor que o aumento do PIB, face as medidas de adotadas de conservação de energia elétrica, eliminando os desperdícios e buscando-se equipamentos energéticamente eficientes.

Pelo lado do consumidor, o que se tem notado com relação as politicas de conservação de energia elétrica, refere-se ao chamado Gerenciamento do Lado da Demanda (GDL), onde o consumidor gerencia o próprio consumo, evitando-se os desperdícios e conseguindo incentivos junto as concessionárias a nível de tarifas, conforme Teive, at al (2001).

Os consumidores ganham com uma redução tarifária, enquanto a concessionária ganha na modulação da carga e deslocamento da ponta, podendo-se assim evitar possíveis cortes de carga e consumidores descontentes.

Em 2000, conforme o PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – Eletrobrás, o Brasil consumiu 306.747 bilhões de kWh de energia elétrica, e apenas o setor comercial foi responsável pelo consumo de 15 % deste total, ou seja, 42,94 bilhões de kWh.

De toda a energia consumida no setor comercial, onde se enquadram os hotéis, shopping centers, hipermercados, supermercados e outros de menor porte, desperdiçam–se aproximadamente 14%, o equivalente a 5,8 bilhões de kWh.

“... Isto representa um desperdício considerável de energia elétrica no Brasil, onde existem muitas "vias de desperdício" de energia: seja por hábitos inadequados de consumo por parte do usuário, utilização de aparelhos e instalações inadequadas e ineficientes, ou falta de conhecimento técnico por parte dos grandes consumidores “..., conforme o PROCEL – Eletrobrás (2004).

Isso ficou bem evidenciado quando do racionamento, imposto a população em meados de 2001, devido à estiagem prolongada e a redução dos níveis dos reservatórios, prejudicando

todo o sistema produtivo e a população de forma geral de diversas regiões do país, que se viu obrigada a racionalizar 20% de energia elétrica de seu consumo habitual.

Essa imposição foi de certo ponto benéfica que sob determinadas situações constatou-se os desperdícios cometidos pelos maus hábitos, seja industrial, comercial e residencial, mudança positiva que aos poucos vai caindo no esquecimento, mas que deve ser monitorado continuamente.

Assim cada vez mais, a tecnologia da automação está sendo disponibilizada e desenvolvida para gerenciar e supervisionar diversos sistemas prediais (conjunto de insumos necessários para o desenvolvimento das atividades dentro do edifício). Em mudanças conceituais de arquitetura, projetos de sistemas prediais e na própria utilização destas construções estão transformando esses edifícios, constituindo-se num tema amplo e multidisciplinar relacionado ao conceito de “edifício inteligente”.

Isso tem evidenciado com a expansão da violência indiscrinada em diversas regioes brasileiros, agravada nos últimos anos decorrentes de problemas socio-econômicos, conforme aponta figura 1.1 do jornal a Folha de São Paulo 24/01/2004 - Apud Moreira & Ono (2005), e a preocupação com a segurança pessoal e patrimonial, demonstrada claramente uma triste realidade, o país com o maior ídice de criminalidade do mundo, apresentada pela revista Veja, nº 1 – ano 40, figura 1.2, o que leva a população procurar locais seguros para a realização de suas necessidades básicas de suprimento, até mesmo algum lazer, escolhendo ambientes que ofereçam certo conforto e proteção, mesmo que aparente, a fim de resguardar seus ocupantes contra a violência urbana.

Isso evidencia a necessidade de aplicação de dispositivos de supervisão e controle de um grande número de pontos a serem monitorados dentro desse tipo de construção, desde as mais simples até a que inclua certa “inteligência” artificial nestas edificações.

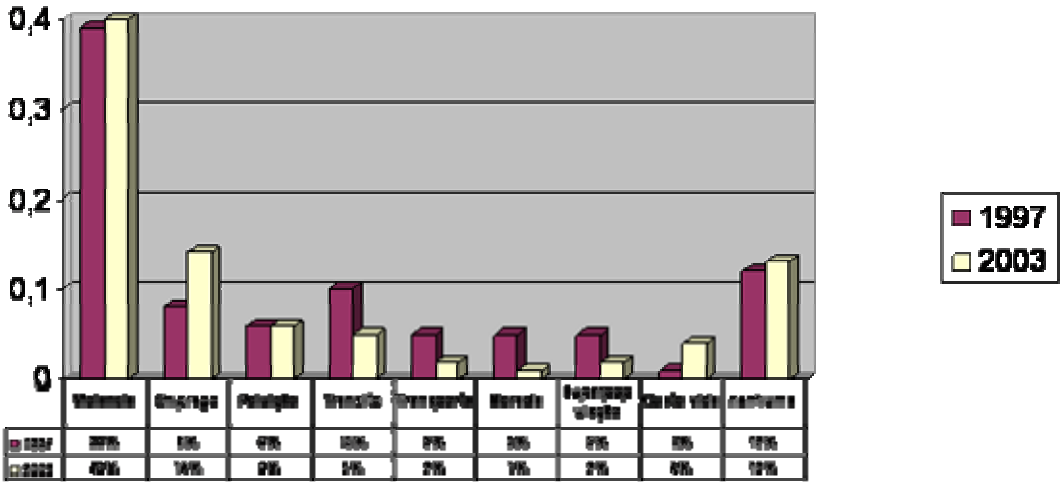


Figura 1.1: Maiores preocupações da população da cidade de São Paulo

Fonte: Folha de São Paulo- 24/01/2004 – Apud Moreira, B. R.; Ono, R. 2005

Nós e os outros

Numa comparação internacional, o Brasil é o país com o maior índice de criminalidade. Ele lidera o ranking de ocorrências policiais em todos os quesitos, com exceção de furto e porte ou tráfico de drogas. Esses casos são os mais subnotificados no país

	TOTAL POR ANO	ÍNDICE DE OCORRÊNCIAS POR 100 000 HABITANTES				
	BRASIL	BRASIL	ESTADOS UNIDOS	ITÁLIA	MÉXICO	CHILE
HOMICÍDIOS	41 000	22,2	5,6	1	13	1,7
MORTES POR ARMA DE FOGO	36 000	20,3	3,38	0,1	2,6	0,06
ASSALTOS	942 000	510	140	78	146	22
FURTOS	2 150 000	1 170	4 300	2 560	112	374
SEQÜESTROS	650	0,4	0,03	0,2	0,3	0,4
DETENÇÃO POR PORTE OU TRÁFICO DE DROGAS	90 000	48,5	622	41	23,4	2,08

Fontes: Ministério da Justiça (2005), FBI (2005), governo da Itália (2005) e ONU (2002 e 2004)

Figura 1.2: Brasil – país com maior índice de criminalidade

Fonte: Revista Veja – ano 40, nº1, 10/01/2007 pg 57.

Pensando nesse mercado, grandes empreendedores do comércio atacadista e varejista vêm construindo grandes lojas que oferecem aos usuários certa comodidade, conforto e principalmente segurança pessoal e patrimonial (veiculos).

O crescimento do número de construções de "*shopping centers*" e hipermercados, que vem sendo implantados em diversas regiões do país nos ultimos anos, comprova essa tendência, onde esses estabelecimentos oferecem a seus usuários a comodidade de se encontrar várias opções num mesmo local, desde uma grande loja de departamentos, diversas salas de cinemas,

lojas de eletrodomésticos, auto peças e acessórios, entretenimento, redes de *fast food* e serviços: bancos, livrarias, farmácias, caixas eletrônicas, lotéricas até quiosques de pequenos objetos, *souvenirs* e acessórios diversos.

A busca pela eficiência, produtividade e segurança pessoal e patrimonial, necessárias no mundo atual deverm ser considerados ao projetar ou modificar um empreendimento desse porte. E para conseguir estes objetivos tem-se que, necessariamente, considerar novos conceitos e diferentes técnicas de abordagens que possam ser aplicadas, tanto para a modelagem do sistema como para sua avaliação, além de evidentemente do aproveitamento eficiente dos recursos da alta tecnologia disponíveis.

Os sistemas de automação, supervisão e controle, são ferramentas importantíssimas no gerenciamento dos diversos sistemas encontrados nesse tipo construção, no monitoramento dos insumos energéticos, sistemas de segurança, transporte, conforto, acesso e outros, facilita o convivio das pessoas nesse tipo de construção, sem grandes dificuldades.

2 - Objetivos

Pretende-se neste trabalho demonstrar, a partir do diagnóstico do sistema elétrico de um grande estabelecimento varejista construído na década de 1970, que os benefícios dos dispositivos eletro-eletrônicos disponíveis atualmente no mercado, possibilitam uma melhoria considerável da demanda de energia em sistemas de ar condicionado central, instalados há cerca de 20 anos ou mais. Onde no seu dimensionamento, era considerada a taxa de ocupação máxima do recinto, que, na maioria das vezes, não é uma situação verdadeira. E isso tem contribuído com o alto consumo de energia desses equipamentos. Segundo Simões (2004) da Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento - ABRAVA, esses sistemas são responsáveis por aproximadamente 50% do consumo de energia elétrica dos edifícios comerciais, onde possuem climatização mecânica.

Na maioria dos sistemas de ar condicionado central, o controle de vazão de ar insuflado se faz por meio de *dumpers* (venezianas motorizadas), dispositivos que regulam a passagem de ar pelos dutos, mas não operam em sintonia com os *fancoils,* onde os motores envolvidos trabalham em regime de rotação permanente. Esses *dumpers* estrangulam, ou liberam essa passagem de ar pelos dutos, conforme necessidade, tornando o sistema pouco eficiente. Uma analogia disso, seria como se acelerasse e freasse um automóvel ao mesmo tempo, provocando um consumo de energia desnecessário, tornando-os ineficientes as duas ações.

O escopo deste trabalho não é detalhar o funcionamento desses dispositivos eletrônicos, tampouco os softwares que controlam esses equipamentos, uma vez que já foram desenvolvidos pelos projetistas destes, mas sim a aplicabilidade dos sistemas que empregam grande número de motores elétricos (compressores, bomba de circulação, *dampers*, torre de resfriamento, *fancoils,* etc.) e, na maioria das vezes, trabalham no regime de alta rotação.

Esses equipamentos, trabalhando em regime permanente no insuflamento de ar climatizado, nem sempre atendem às necessidades de conforto dos seus beneficiários, pois, em determinados períodos, chegam a causar a sensação de desconforto, deixando o ar mais frio ou mais quente que o ideal. Isso tem exigido maior atenção do departamento de manutenção, razão

pela qual, sob determinadas condições climáticas, os equipamentos são desligados manualmente, para se minimizar os custos de energia elétrica. Tal situação foi observada quando do levantamento do consumo de energia dessa grande construção comercial.

Com isso, elaborou-se um protótipo que viabilizasse uma simulação desse trabalho, contendo: CLP (Controlador Lógico Programável), Inversor de Freqüência, termo-resistência, motor trifásico de ½ CV, caixa de isopor com uma divisão interna, transformador de 24 V, conversor de temperatura em sinal elétrico e reles, que são perfeitamente acopláveis em sistemas já implantados e, com determinado período de operação, sem a necessidade de grandes intervenções, permitindo-se com isso, um ganho de eficiência nesses sistemas de ar condicionado central.

A aplicação de inversores de freqüência conectados a controladores programáveis (CLP) dos equipamentos, permite um monitoramento da rotação dos motores do sistema de ar condicionado, e termopares instalados em pontos estratégicos, reproduz a temperatura real (*on line*) do ambiente ou setor, e enviam um sinal elétrico ao CLP. Este, por sua vez, envia um sinal ao inversor de freqüência, que aumenta ou diminui a velocidade dos motores do sistema de insuflamento de ar, com isso permitindo uma melhoria no gerenciamento da demanda de energia, sem a necessidade de intervenção humana.

Esses recursos de automação atualmente disponíveis no mercado permitem uma intervenção localizada em determinados pontos de uma instalação, utilizando-se de dispositivos eletro-mecânico, com sensores e atuadores (hardware e software), que, devidamente ligados e entre si conectados, permitem uma melhoria significativa no gerenciamento da demanda de energia elétrica.

O estabelecimento comercial (hipermercado) avaliado, apresenta alguns pontos de automação, mas operando individualmente (*stand alone*), o que de certa forma dificulta o monitoramento geral do sistema de energia, principalmente a do ar condicionado central. Atualmente o controle ainda é localizado nos equipamentos. Isso seria minimizado se monitorado e gerenciado num sistema centralizado, onde se permitiria uma visão global de todo sistema dessa edificação comercial, e uma supervisão e controle de todos os setores e equipamentos.

Como o sistema implantado atendia aos critérios da época (1978), para o dimensionamento do sistema de ar condicionado central (sistema de água gelada) se considerava a taxa de ocupação máxima, com distribuição uniforme de ar refrigerado no ambiente condicionado, sem setorização ou variação da temperatura, ignorando-se a radiação dos ocupantes e equipamentos ali instalados, o que, em determinadas regiões, principalmente em grandes áreas do recinto, não atende às condições de conforto dos ocupantes.

O sistema proposto consiste na aplicação de dispositivos de controle no sistema de distribuição de ar setorizada, onde o volume de ar insuflado no setor de alimentos congelados e resfriados seria minimizado ou eliminado, devido à radiação de ar frio desses equipamentos nesse setor, onde reduzem a temperatura. Em contrapartida, na seção de aparelhos de TV ligados para demonstração, o volume de ar refrigerado poderia ser otimizado para satisfazer às condições de conforto, ante a radiação dos aparelhos.

Com isso pretende-se demonstrar, que a aplicação de determinados dispositivos de automação num sistema de ar condicionado central, com equipamentos pouco ultrapassados, permite uma melhoria significativa do monitoramento e gerenciamento de energia remotamente, visto que esse sistema representa cerca de 45% da demanda de um edifício comercial.

Atualmente, o conceito de edifício “inteligente” está relacionado à facilidade do processo de adaptação de novos recursos e dispositivos, adequando-se às novas tecnologias e às necessidades do usuário, sem grandes transtornos, oferecendo maior conforto, segurança e longevidade ao edifício, sem necessidade de grandes reformas (*retrofit*).

A automação é uma área bastante complexa, multidisciplinar, que envolve linguagem de programação (software), plataforma eletrônica (hardware) e dispositivos de atuação mecânica. Dessa forma, um estudo sobre automação é algo muito abrangente e envolve uma vasta gama de conhecimentos.

No processo de desenvolvimento de projetos e estudos, é necessária a união de diversas competências num projeto temático, podendo ser entendido como um conjunto de subsistemas de automação que formam um único sistema integrado de serviços, tais como: gerenciamento,

distribuição de energia elétrica e controle de demanda, controle de iluminação, de acessos, CFTV (circuito fechado de TV); conforto ambiental bio-climático: calefação, ventilação e condicionamento de ar; distribuição, filtragem e aquecimento de água; consumo de recursos hídricos e energéticos, segurança, comunicação e acesso remoto.

Para auxiliar nesse entendimento, inicialmente será apresentado um panorama do sistema energético brasileiro e a preocupação do setor de geração de energia, pois, embora o país esteja numa situação relativamente confortável no fornecimento de energia elétrica, o aumento de investimento nesse setor é de vital importância para o desenvolvimento do país.

Do lado da demanda, os recursos da automação permitem uma melhor gestão dos insumos, resultando em economia ao consumidor final e, medidas preventivas e corretivas podem ser aplicadas, recorrendo-se aos sistemas de automação na supervisão e no gerenciamento dessa energia. O sistema de condicionamento ambiental, o ar condicionado central e o sistema de frio alimentar em super e hipermercados são responsáveis por cerca de 70% do consumo de energia, conforme Simões (2004) -Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento.

O estabelecimento avaliado possui alguns sistemas com dispositivos de controle e automação, atuando de forma independente (*stand alone*), que certamente causa uma perda de eficiência e consequentemente certo desperdício de energia. Isso poderia ser melhorado, integrando-se esses sistemas isolados em sistema único de supervisão e gerenciamento centralizado, localizado em um ponto estratégico do prédio, permitindo uma visão global de todo o sistema energético da construção. Além disso, permitiria uma integração da rede de lojas distribuídas pelo país com a administração central, através da rede corporativa de computadores.

Essa integração de sistemas de supervisão e gerenciamento de energia, que num primeiro instante representa um investimento considerável sob a ótica do empreendedor, ao longo do tempo torna-se um benefício, visto que o tempo necessário a uma possível intervenção, em caso de pane, alívio ou correção do sistema, é praticamente instantâneo (décimos ou milésimos de segundos), e certamente representaria economia de energia e um alívio de tarefas ao departamento de manutenção e serviços.

3- Revisão Bibliográfica

Para auxiliar a compreensão deste trabalho, procurou-se demonstrar a atual situação do setor de geração de energia elétrica no Brasil, das fontes, dos problemas e das dificuldades enfrentadas no atendimento de uma demanda cada vez mais crescente, visando à utilização de forma racional da energia elétrica, que é vital na vida contemporânea da humanidade.

Infelizmente pouco tem sido efetivamente realizado no aumento da oferta de energia devido a interesses políticos e econômicos, que pode causar sérios prejuízos na proposta governamental, que se não forem corrigidas em tempo, poderá inviabilizar o crescimento do PIB proposto de um aumento de 4,5% a.a para os próximos anos. Muito aquém de países emergentes da Ásia, como a China e a Índia, que cresceram em torno de 9,5% e 7,5% nos últimos 10 anos, e outros paises da América do Sul, como Chile e Argentina, com 7,5% e 8,0% em 2005 e 2006.

3.1 – Panorama Energético Brasileiro

Com cerca de 8,5 milhões de quilômetros quadrados, mais de 7 mil quilômetros de litoral e condições climáticas extremamente favoráveis, o Brasil possui um dos maiores e melhores potenciais energéticos do mundo, onde em 2005 gerou 441,6 TWh, sendo o 10º país gerador de energia elétrica, figura 3.1.1, conforme aponta Rondeau (2006) do Ministério das Minas e Energia, e uma grande parcela de fontes renováveis, figura 3.1.2.

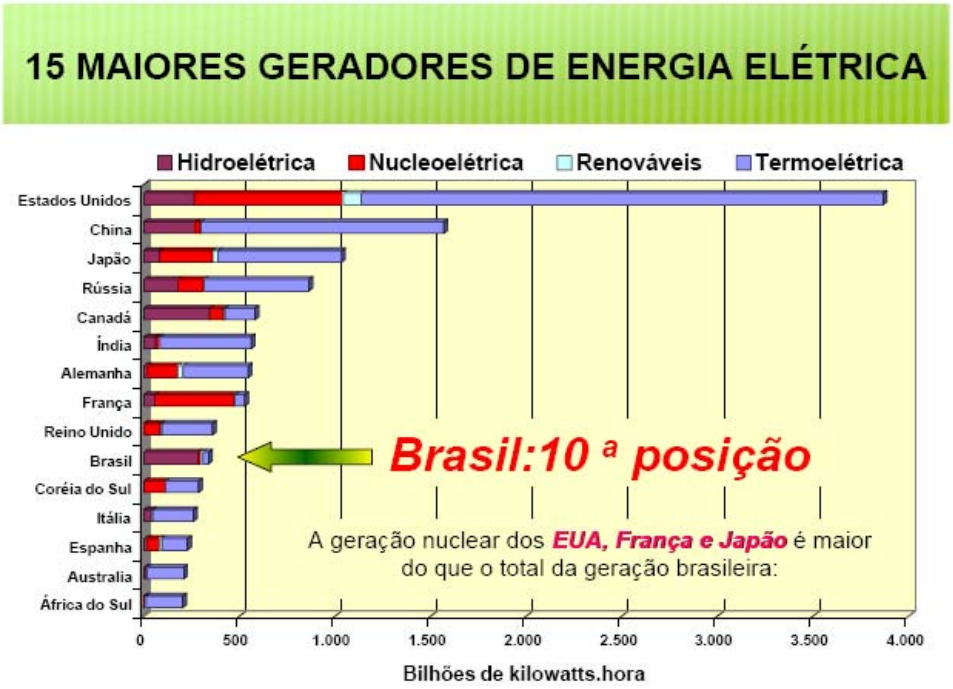


Figura 3.1.1 – Maiores geradores de energia elétrica

Fonte: Rondeau (2006) apud *International Energy Annual 2003*

As reservas de recursos não renováveis de combustíveis fósseis e minerais (carvão e urânio) tornam o país com condições relativamente confortáveis, mesmo assim, o país tem procurado desenvolver a exploração de energia renovável, que possui uma participação bastante significativa (45%), através de seus potenciais hidráulicos, da radiação solar, da biomassa e dos ventos que são suficientemente abundantes para garantir à auto-suficiência energética, e menos vulnerável as oscilações externas relativas ao petróleo, conforme apresenta o Balanço Energético Nacional – BEN 2006, figura 3.1.2, que demonstra esse perfil em relação aos países pertencentes a Organização de Cooperação de Desenvolvimento Econômico -OCDE (formada majoritariamente por paises desenvolvidos), e do mundo.

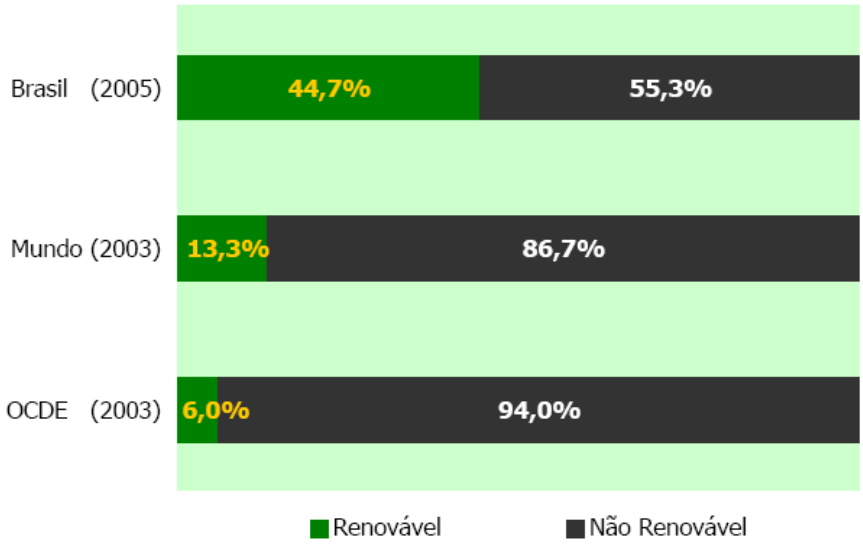


Figura 3.1.2 – Oferta interna de energia – 2005
Fonte: BEN (2006) - MME

Contudo, apenas duas fontes energéticas – hidráulica e petróleo – têm sido extensivamente exploradas. Cerca de 80% do suprimento de energia elétrica do país provém de geração hidráulica (Balanço Energético Nacional – BEN 2006), e o petróleo representa mais de 38% da matriz energética nacional, conforme a Figura 3.1.3. Apesar da importância dessas fontes, a conjuntura atual do setor energético brasileiro – crescimento da demanda, escassez de oferta e restrições financeiras, socioeconômicas e ambientais à expansão do sistema – indica que o suprimento futuro de energia exigirá maior aproveitamento de fontes alternativas.

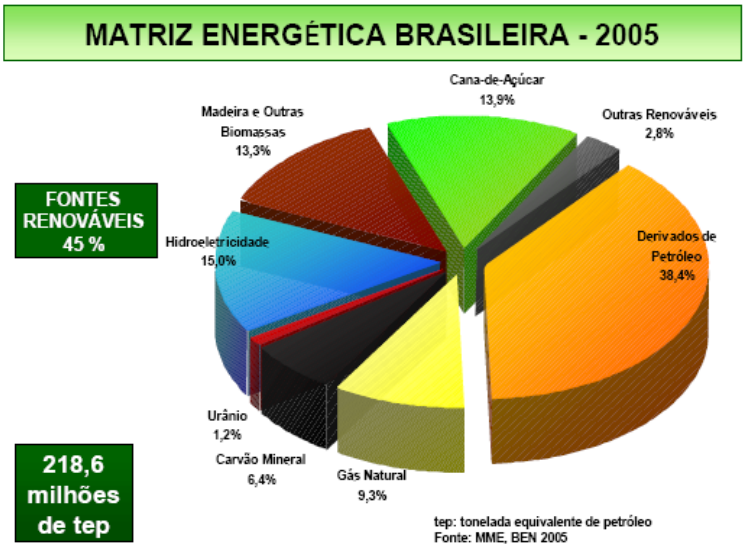


Figura 3.1. 3 – Matriz Energética Brasileira 2.005

Fonte: BEN (2006) – Balanço Energético Nacional

Se do lado da oferta de energia as condições são relativamente confortáveis, principalmente devido a estagnação da economia nas últimas décadas, do lado da demanda há enormes descompassos e desafios para a sociedade brasileira. Tanto nas periferias de grandes centros urbanos como em regiões remotas e pouco desenvolvidas, as formas convencionais de suprimento energético não atendem às condições sócio-econômicas da maioria dessa população.

Portanto, o planejamento e a regulação da oferta de energia devem buscar formas de suprimento energético compatíveis com as potencialidades energéticas e as necessidades socioeconômicas nacionais e regionais. É preciso que cada fonte ou recurso energético seja estrategicamente aproveitado, visando a maximização dos benefícios proporcionados e a minimização dos impactos negativos ao meio ambiente e à sociedade.

No modelo atual do setor elétrico brasileiro, além das políticas e diretrizes nacionais, são elementos fundamentais para o bom funcionamento do mercado as regras de atuação e os mecanismos de regulação, entre os quais a disponibilização de informações consistentes e atualizadas a todos os agentes do setor. É necessário, porém, um sistema de informação eficiente e compatível com a dinâmica e as dimensões do setor.

Antes da crise energética do petróleo de 1973, pouca ou quase nenhuma preocupação se tinha com relação aos insumos energéticos, pois com grande oferta e baixos preços, a maior preocupação dos países desenvolvidos era disseminar seus produtos, máquinas e equipamentos aos países em desenvolvimentos, com baixo rendimento e nenhuma preocupação com a eficiência energética.

Durante essa crise, o Brasil também teve a necessidade de desenvolver um produto nacional que minimizasse a enorme dependência do petróleo internacional no período, conforme o **Balanço Energético Nacional (BEN) – MME 2004**, mostrada na figura 3.1.4, principalmente como combustível destinado ao setor de transportes, que na época grande parte desse produto era importada, portanto sujeitos as variações do mercado internacional.

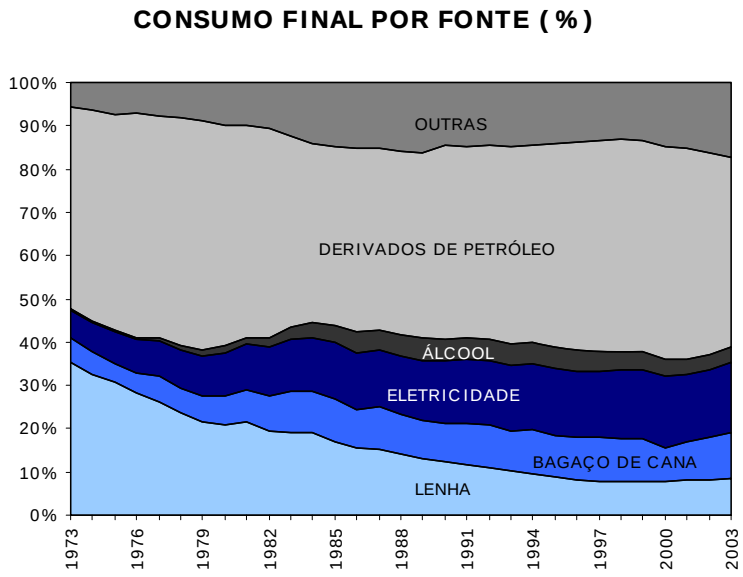


Figura 3.1.4 – Consumo Energético Nacional – 1973- 2004
Fonte: BEN (2005)–MME

A partir daí, as questões relativas a geração alternativa de energia tem sido abordada diferentemente por diversos países, com estratégias bastante particulares, buscando sua independência na produção de determinados insumos energéticos, evidenciando um desenvolvimento sustentável, e o Brasil tem utilizado outros recursos disponíveis à partir dessa

época**.** Foram também durante esse período que se desenvolveram grandes projetos de hidrelétricas no país, como as Usinas de Itaipu, figura 3.1.5, Ilha Solteira, Furnas, entre outras. E a criação do programa PROALCOOL, para suprir a deficiência dos derivados de petróleo, importado e caro, para substituição da gasolina nos veículos automotores, no setor de transporte.

Figura 3.1.5 – Hidrelétrica de Itaipu (Brasil-Paraguai) – 14 MW

Mesmo o Brasil, sendo país tropical de dimensões continentais, privilegiado pela natureza, com uma das maiores reservas de recursos hídricos do planeta, uma topografia favorável nas construções de hidrelétricas, e com enorme potencial hidráulico, estimado em 257.920 MW segundo a **Eletrobrás - Ministério das Minas e Energia - MME (2001),** figura 3.1.7 abaixo, não tem conseguido explorar satisfatoriamente esse setor.

Atualmente, apenas cerca de 30% é explorada dessa capacidade, devido principalmente a uma política priorizada a investimentos na geração de energia elétrica em grandes usinas hidrelétricas, principalmente nas regiões Sul e Sudeste, onde atualmente são responsáveis por 77,1% da energia elétrica gerada no país, como mostra a figura 3.1.6 - Estrutura de Oferta de Energia Elétrica no Brasil - BEN 2006.

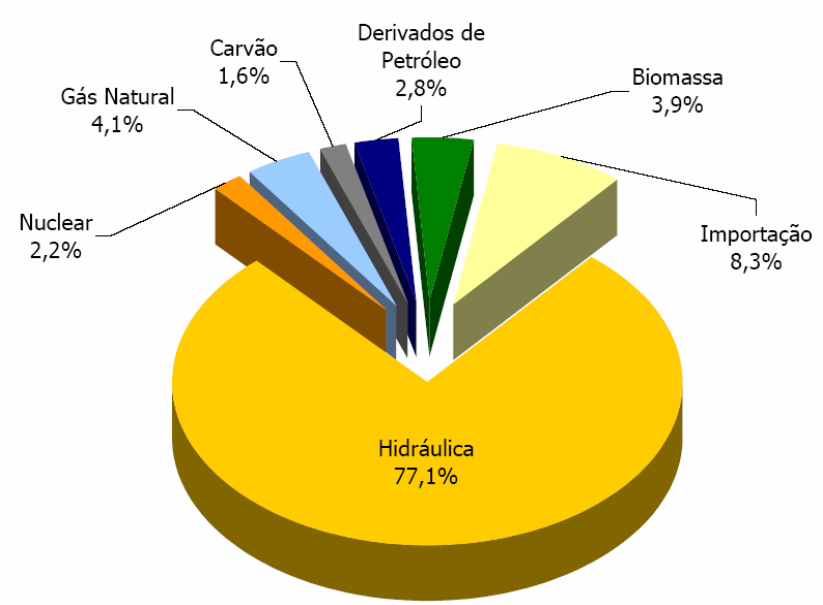


Figura 3.1.6 – Oferta Interna de Energia Elétrica no Brasil-2005

Fonte: BEN (2006) – MME

Isso mostra que apesar do país possuir grandes potenciais hidráulicos, está começando a diversificar suas fontes de energia elétrica, onde até a pouco tempo atrás, o Brasil tinha como fonte de energia elétrica de origem hidráulica em mais de 90%, ficando a mercê das condições climáticas, sujeitas a grandes períodos de estiagem, que provoca o rebaixamento dos reservatórios, e consequentemente a interrupção do fornecimento de energia elétrica.

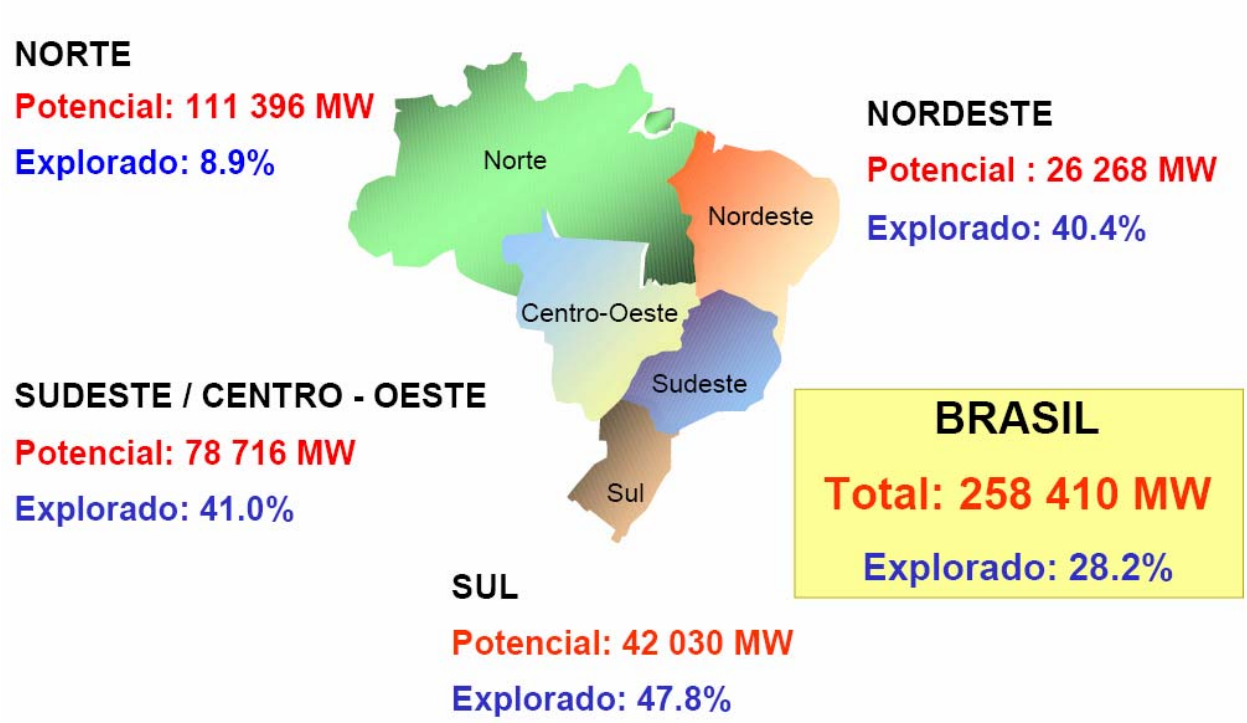


Figura 3.1.7 – Potencial Hidrelétrico Brasileiro

Fonte: BEN 2005 – MME (2006)

Um fato curioso verificado no gráfico da figura 3.1.8 abaixo, é que a partir de 1985 o Brasil que era independente no suprimento de energia elétrica, com predominância de geração hidráulica, passa a importar energia elétrica de países vizinhos como a Argentina, e Paraguai (Itaipu-50%) devido a uma deficiência no setor.

Essa foi uma herança herdada de governos anteriores que, deixaram de continuar investindo no o setor de geração e distribuição de energia elétrica, negligenciando o fato, e posteriormente repassando a responsabilidade ao setor privado.

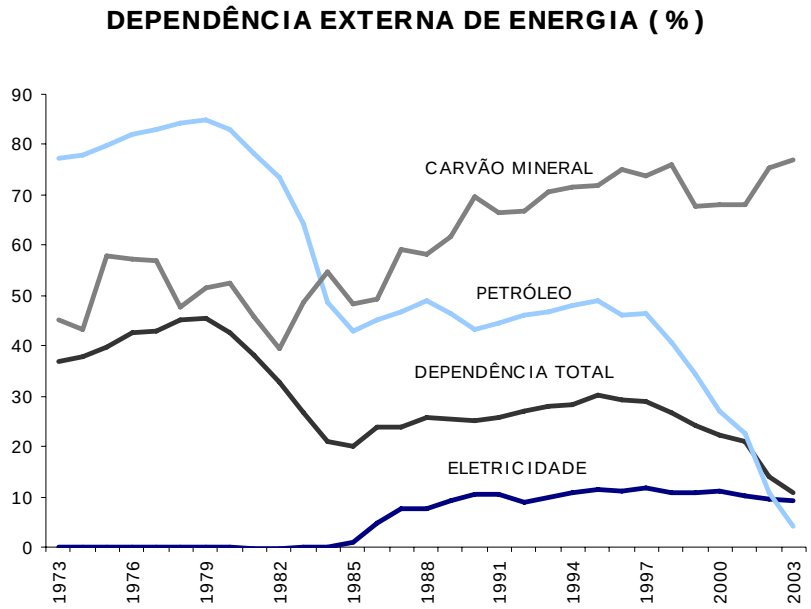


Figura 3.1.8 – Dependência externa de energia 1973-2003

Fonte: BEN – Balanço Energético Nacional , MME– 2004

No período de 1975, o governo brasileiro decide desenvolver um combustível com tecnologia nacional, renovável e com baixos índices de emissões de poluentes. Criando um programa nacional do álcool, denominado de PROÁLCOOL, onde já se possuía tecnologia própria de destilação da cana-de-açúcar na produção desse energético, que teve e tem importante contribuição na matriz energética nacional.

Como cerca de 80% do petróleo consumido no país era importado, e a explosão dos preços ocorridos entre 1973 e 1974, o valor do preço das importações com o petróleo no Brasil saltou de US$ 600 milhões de dólares para mais de US$ 22 bilhões de dólares, conforme Vichi & Mello (2004).

O programa viabilizou a continuidade do abastecimento de combustíveis automotivos baseados na utilização de biomassa, por meio de incentivos a produção de álcool de cana de açúcar, nas unidades açucareiras e destilarias independentes. E do financiamento ao desenvolvimento de motores apropriados pelas indústrias automobilísticas instaladas no país, e de uma ampla rede de distribuição.

Esse projeto tem proporcionado ao país certa independência de oscilações do mercado de petróleo internacional, e projeção internacional como único país a possuir uma tecnologia de combustíveis renováveis (um ano, é o tempo do ciclo de produção da cana-de-açúcar), de baixo impacto na emissão de CO_2, isento de NO_x, e garantindo o fornecimento de tecnologia e álcool anidro aos países desenvolvidos, onde possuem uma legislação bastante rigorosa na emissão de poluentes.

Paralelamente as indústrias automobilísticas nacional, comprometidas com governo, tiveram grande papel nesse novo energético e no desenvolvimento de equipamentos e componentes que viabilizasse essa utilização, ou seja, motores que pudessem funcionar com novo combustível, desconhecido até então como combustível de automotores.

Esse tipo de combustível causava danos no sistema de alimentação de motores automotivos, tanques, bombas de alimentação, sistemas de carburação ou injeção, sistemas de gases de escape, devido a concentração de H_2O no álcool o que provocava corrosão nas partes que mantinham contato com o líquido. Isso foi resolvido com a aplicação de uma fina camada de níquel na proteção desses componentes.

Com o desenvolvimento dos sistemas *flex fuel*, a partir do ano 2003, as montadoras de automóveis do Brasil, lançaram automóveis com motores bi-combustível, ou seja, que poderiam ser abastecidos com gasolina ou álcool, ou mesmos com qualquer mistura desses combustíveis, o que estimulou a compra desse tipo de veiculo. Onde durante o período de 2003-2006 foram comercializadas 1.757.606 veículos flexfuel, conforme aponta Anfavea – Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores, apud Rondeau (2006), Ministério das Minas e Energia.

Atualmente a demanda internacional de etanol, como combustível menos poluente, tem contribuído nas exportações brasileiras, que tem causado elevação de preço no mercado interno, e prejudicado o consumidor local.

Em 1989, o petróleo correspondia a cerca de 40% da matriz energética mundial, seguido pelo carvão mineral com 28%, o gás natural com 20%, a hidráulica com 6%, a nuclear com 2% e o restante com outros 6%.

A realidade brasileira no período, a matriz energética teve um comportamento bastante particular, onde a participação da energia hidráulica corresponde com a maioria, cerca de 40%, e a participação do álcool hidratado (etanol), com cerca de 3%, praticamente inexistente em outras nações.

Essas comparações das matrizes energéticas, do Brasil e do mundo em 1989, estão representadas no gráfico da figura 3.1.9, de acordo com Venâncio (2001), onde mostra a contribuição de cada energético utilizado em sua matriz.

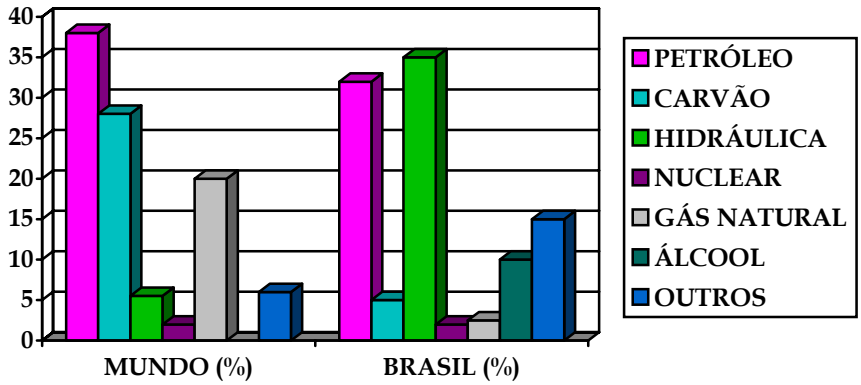


Figura 3.1.9– Matriz Energética Mundial x Brasileira -1989
Fonte: Venâncio (2001)

Felizmente a participação proporcional do petróleo na matriz energética mundial continua caindo, quando em 1973 era de 45% de um total de 6,034 bilhões de tep (tonelada equivalente de petróleo), em 2003 passou a 34,4% da demanda total de energia, de acordo com a Agência Internacional de Energia, apud Ministério das Minas e Energia (2005), conforme aponta o gráfico 3.1.10 abaixo, devido a mudanças de políticas energéticas e investimentos em energias renováveis, como biomassa, eólica, solar e outros.

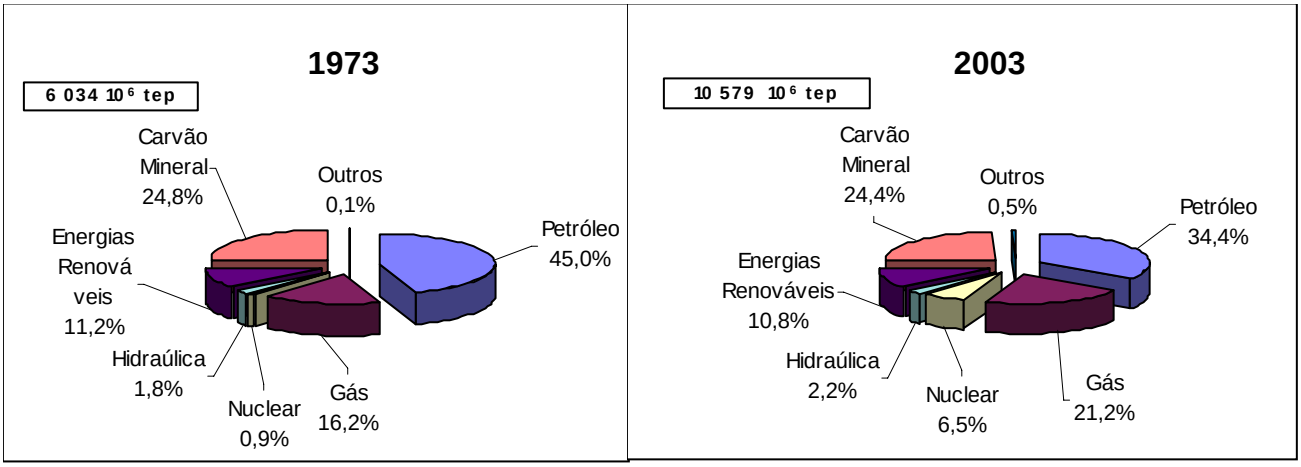


Figura 3.1.10 – Matriz energética mundial 1973 e 2003

Fonte: Agencia Internacional de Energia apud MME (2005)

Atualmente o aumento da demanda de energia elétrica no Brasil, tem sido bastante significativa, devido ao crescimento econômico, onde nos últimos 20 anos passou de 70 para 300 TWh, conforme Lock (2004), e em 2006 a produção nacional de energia elétrica atingiu 441,6 TWh, incluindo as importações de Itaipu-Binacional, conforme aponta Rondeau (2006) MME, tornando o país em terceiro maior consumidor de energia do Hemisfério Oeste, depois dos Estados Unidos e Canadá, e é o maior consumidor da América Latina.

Na contramão desse desenvolvimento, o governo nesse período deixou de investir no mesmo rítimo e depois de 1998, deixou essa responsabilidade a iniciativa privada, que começa a diversificar os sistemas de geração, não se resumindo apenas nas hidrelétricas.

Felizmente o país ainda não entrou em colapso energético atribuído principalmente ao fraco desempenho da economia das últimas décadas, atendendo a interesses de determinados grupos econômicos.

Mesmo assim chegou-se a auto-suficiência em petróleo em abril de 2006, e nos últimos anos desenvolveu-se novos sistemas de energia, como novos parques eólicos nas regiões nordeste, aumento na produtividade da cana-de-açúcar, com pesquisas em novas variedades para determinadas regiões, o aumento da utilização do bagaço de cana na produção de energia elétrica,

tornando as usinas de açúcar e álcool em auto-geradores de energia e até mesmo exportadores de energia elétrica.

Outro importante passo na flexibilização da matriz energética brasileira, foi no empenho na produção de biodiesel, iniciada em 1970 e patenteada por pesquisador brasileiro em 1980, de acordo com Crestana (2005) da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, que a partir da adição de óleos vegetais, como soja, babaçu, mamona, girassol, palma, colza e outros, ao diesel em pequenas proporções, minimizam a emissão de poluentes, além dos créditos de carbono comercializáveis em bolsa de valores.

O biodiesel é obtido através de um processo sustentável utilizando matérias primas vegetais renováveis, que possui efeito positivo no ciclo do carbono, onde o crédito ambiental será sempre maior que o combustível fóssil que pela sua própria natureza, só gera gases de combustão sem que o processo de fabricação apareça uma fase agrícola de fixação de carbono.

O biodiesel no Brasil, teve o marco regulatório na Lei 11.097/2005, onde estabelece percentuais mínimos de mistura de biodiesel ao diesel e o monitoramento da inserção de novo combustível no mercado, como aponta Crestana (2005) na figura 3.1.11.

Figura 3.1.11 – Percentual de Biodiesel no óleo diesel
Fonte: Crestana (2005) - Embrapa

3.2. A participação do gás natural na matriz energética

Com a privatização do setor energético, introduzida no país nos últimos anos, e o agravamento da recente crise de energia elétrica brasileira na última década nos setores de geração, transmissão e distribuição de energia, verificou-se a necessidade de encontrar outra forma de energia alternativa que substituísse, pelo menos parte dessa energia elétrica utilizada no aquecimento e resfriamento de água, e o gás combustível torna-se uma alternativa bastante interessante e eficiente na produção de calor e água gelada, e até mesmo na auto-geração de energia elétrica, através da implantação de novas redes de gasodutos em diversas regiões do país, pelas novas concessionárias de gás natural, como mostra a figura 3.2.1, e a introdução de novos equipamentos de aquecimentos e refrigeração diferenciada em nosso mercado procurando atender a diversos seguimentos e sistemas.

Figura 3.2.1 - Concessionárias de distribuição de gás natural do Brasil

Fonte: Gasnet- 2002 – www.gasnet.com.br – acessado 20/05/2002

O governo tem-se preocupado com o setor, e vem estimulando a iniciativa privada na implantação de novas fontes de geração, que possam incorporar no sistema de abastecimento de energia elétrica no país, criando mecanismos que facilitam a implementação de novos sistemas energéticos, como usinas eólicas, novas Pequenas Centrais Hidrelétricas – PCHs, usinas solares – sistemas fotovoltaicos, aquecimento de água através da energia solar, principalmente as domésticas, novas termelétricas a gás natural, termelétricas a biomassa, termelétricas movidas a gás metano proveniente de aterro sanitário e novas usinas hidrelétricas de médio e grande porte.

Outro aspecto muito importante, é a incorporação mais acentuada do gás natural nos últimos anos, com a implantação do gasoduto Brasil-Bolivia, e a descoberta de grandes jazidas de gás na costa brasileira, explorada através de plataforma submarina, como mostra a figura 3.2.2, com a ampliação da rede de distribuição em diversas regiões do país, o que tem propiciado a instalação de termelétricas a gás, assim como a implantação de sistemas de cogeração industrial e comercial, criando certa independência no próprio abastecimento de energia elétrica, e outros insumos que até então, eram adquiridas de outros fornecedores, e até mesmo exportando o excedente de energia e outros insumos gerados pelo sistema.

Figura 3.2.2 – Plataforma submarina de Campos- RJ
Fonte: Petrobrás

Apesar de recentemente, o relacionamento do Brasil com a Bolívia estar pouco conturbada, a respeito do fornecimento de gás natural, no ano de 2005, onde a população indígena revindicavam a nacionalizaçãp do combustível, e aumentar o imposto sobre o produto em 70%, o país se encontra num patamar relativamente confortável, devido a descoberta de uma grande reserva de gás natural na Bacia de Santos-SP, conforme a **ANP- Agência Nacional do Petróleo - 2004,** com reservas estimadas em 400 milhões de m³, onde praticamente triplica as reservas de gás natural, como também o aumento do uso do alcool anidro como combustível, nos recém criados veículos flexfuel, que estão invadindo nossa frota de veículos pequenos e médios, devido a flexibilidade que estes permitem.

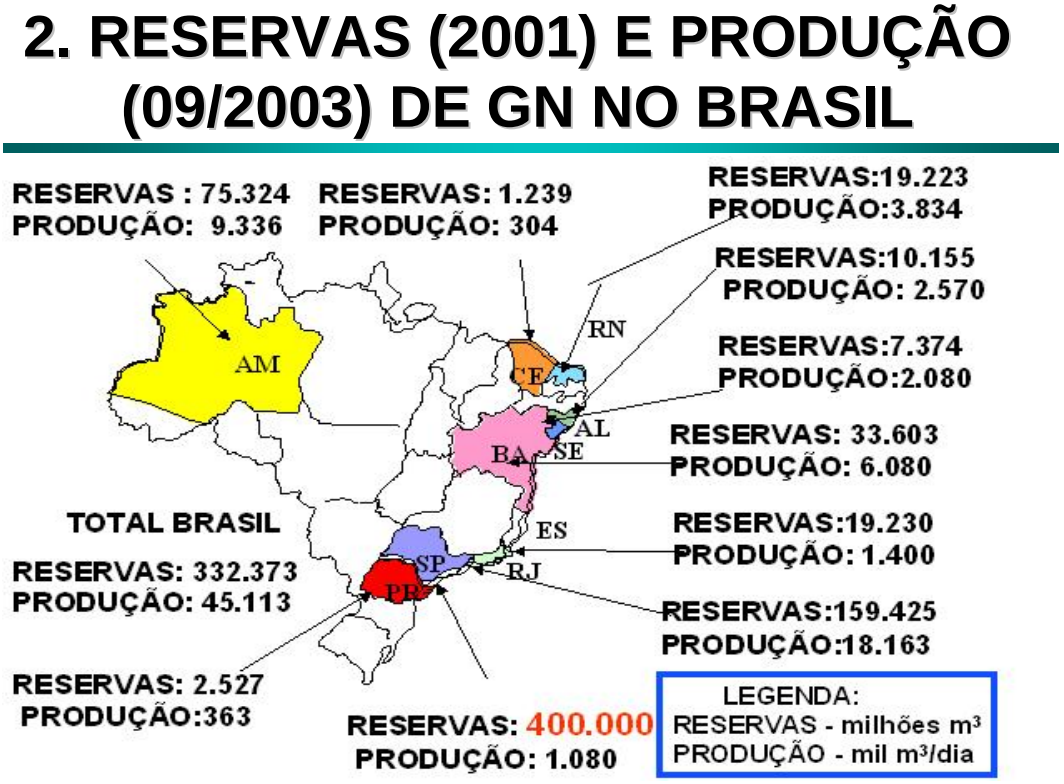


Figura 3.2.3 – Reservas de Gás Natural do Brasil

Fonte: ANP – Agência Nacional do Petróleo (2004)

A incorporação de novas termelétricas no país no sistema elétrico nacional, será facilitada com a ampliação da malha de gasodutos em diversas regiões, e o gasoduto Brasil-Bolívia - Gasbol, nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul, atravessando as regiões de maior

concentração urbana e industrial do país permitirá o suprimento de gás natural na matriz energética regional, principalmente no seu entorno; nos setores industriais, comerciais, serviços e residenciais, que em determinados sistemas,o gás natural substitui com vantagem a energia elétrica principalmente quando utilizada na transformação em energia térmica.

Os números do gás natural (Fonte Petrobrás 2003 – Apud- Venâncio):

- **155,78 trilhões de metros cúbicos** - é o volume total de reservas de gás natural do mundo inteiro, volume semelhante as reservas de petróleo mundial;
- **56,06 trilhões de metros cúbicos** - são as reservas totais de gás natural encontradas no Oriente Médio;
- **7,33 trilhões de metros** cúbicos – são as reservas totais de gás natural de toda América Latina inclusive o México;
- **316,56 bilhões de metros cúbicos** – é o volume de gás natural provadas até 2003 com tendência de aumento com a incorporação de uma grande reserva na Bacia de Santos, podendo praticamente triplicar as reservas brasileiras;
- **1 século** - é o tempo estimado da duração das reservas mundiais de gás natural
- **7,5%** - é a participação do gás natural na matriz energética brasileira
- **44 milhões de metros cúbicos/di**a - é o consumo de gás natural no Brasil.

Nas indústrias, diferentemente do que ocorre com a energia elétrica que antes de alimentar as máquinas é necessário passar por um processo de transformação da energia elétrica que vem da rede, que de acordo com a necessidade do processo, exige um bom investimento em sistemas de subestações e transformadores.

Esse investimento é dispensado na utilização do gás natural, que pode ser utilizado sem necessidade de estoque ou transformação, na sua forma original, aplicando-se diretamente em sistemas de aquecimento de fornos, caldeira, estufas, e nos processos de produção, devido a sua característica de fornecimento de uma chama limpa e uniforme, qualidades importantes nas indústrias de vidros e cerâmicas, com baixos índices de emissões de poluentes na atmosfera (sem enxofre na sua composição), substituindo com vantagens o óleo combustível.

Pode também ser utilizado na autoprodução de energia elétrica através de sistemas de cogeração, onde através do processo de combustão interna nos motores e turbinas produz energia mecânica gerando simultaneamente eletricidade e o calor que pode ser aproveitado em caldeiras e movimentar turbinas para geração de energia elétrica (ciclo combinado), ou mesmo utilizada no processo industrial, aumentando sua eficiência.

A energia térmica proveniente do sistema de refrigeração desses motores à gás natural, apresentada na figura 3.2.5, são mais eficientes que as turbinas, onde nesse caso pode ser reaproveitada em sistemas de geração de vapor que pode ser utilizado no processo de geração elétrica (ciclo combinado), água quente, ar refrigerado, água fria e, os gases de exaustão que normalmente são liberados na atmosfera podem ser reaproveitadas na produção de CO_2 e NO_x.

A utilização desses gases fazem parte do processo industrial, como matérias-primas importantes em indústrias de refrigerantes e cervejas, como também no tratamento de efluentes, obtendo com isso um rendimento bastante considerável em torno de 90% em relação aos sistemas convencionais de cogeração, cujo rendimento gira em torno de 55%.

Esses sistemas estão sendo aplicados em algumas indústrias de refrigerantes e cervejarias na região do gasoduto Brasil–Bolívia, Gasbol - MARIOTONI & GOMAZAKO (2002), como por exemplo as cervejarias: Antartica e Bhrama, que se utilizam do CO_2 (gás da cerveja) e NO_x no processo de esterilização das embalagens.

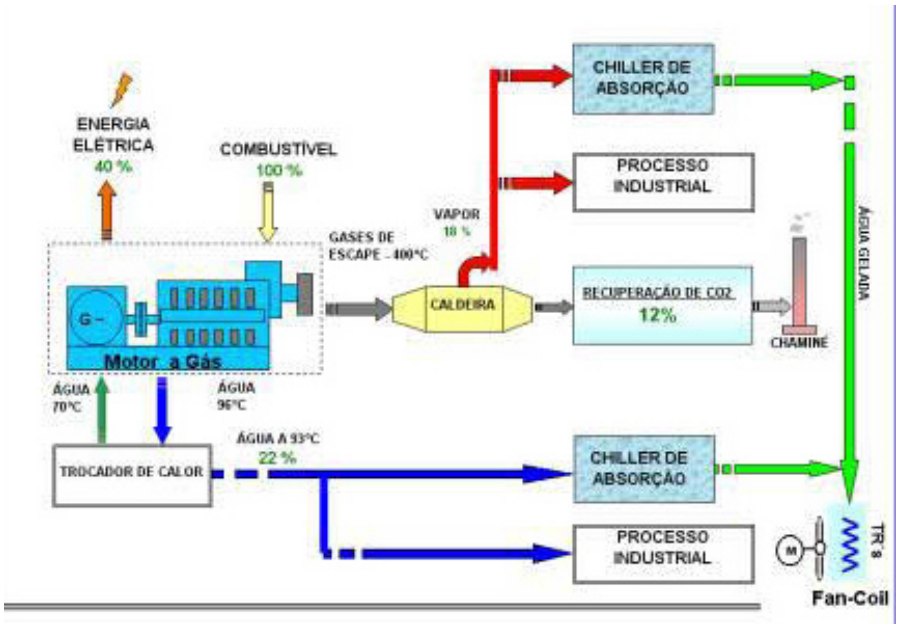


Figura 3.2.5 - Sistema de cogeração a gás combustível (grande eficiência)
Fonte: Mariotoni, C.A., Gomazako,M.S.- 2002

A aquisição de CO_2 pela indústria de bebidas, representa o maior custo de insumos utilizado em sua cadeia de produção, que são os gases encontrados nas cervejas e refrigerantes, onde apenas com a economia gerada através da eliminação desse custo, paga-se totalmente a energia elétrica utilizada no processo, caso real praticado por uma indústria de bebidas "Pananco" – envasadora da "Coca Cola", de Jundiaí-SP, conforme Gasnet - 2000.

Mesmo em setores como o de comércio e serviços, o gás combustível vem sendo aplicado em diversos sistemas de energia como: aquecimento de caldeiras, produção de água quente, água gelada, através de *chillers* de absorção, geração de energia elétrica, sistemas de refrigeração e cocção, em hotéis, hospitais e shopping centers, universidades, hipermercados,etc., como o Barra Shopping da cidade do Rio de Janeiro.

Um exemplo da grande expansão da introdução do gás natural como energético de grande importância, é o que está sendo verificado no Estado de São Paulo nos últimos sete anos, como mostra a Tabela 1 – número de consumidores e Tabela 2 – consumo por consumidor, abaixo;

Discriminação	1.998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Residencial	292.277	306.479	321.281	337.441	370.695	409.194	457.105
Industrial	506	492	539	619	718	878	1.020
Comercial	6.921	7.044	7.082	7.276	7.693	8.143	8.617
Automotivo	20	20	21	51	151	218	272
Cogeração	0	1	3	4	6	5	10
Termogeração	0	0	1	2	2	2	2
Total	299.742	314.036	328.927	345.393	379.265	418.440	467.026

Tabela 1- Consumidores de GN no Estado de São Paulo

Fonte: Secretaria de Energia, Rec.Híd. San. – Boletim Informativo, Dez./2004

Discriminação	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Residencial	19,9	20,6	19,7	18,7	19,2	20	20,3
Industrial	179.076,8	188.707,4	219.021,4	237.259,2	270.498,0	290.225,0	287.393,0
Comercial	625,5	650,7	676	725,6	799	870,1	931,6
Automotivo	88.319,8	134.620,8	259.741,9	286.010,2	155.640,1	141.757,6	137.275,30
Cogeração	0	1.568.833,3	1.582.407,4	2.038.386,4	1.917.611,1	1.828.516,1	1.569.927,5
Termogeração	0,0	0,0	9.856.600,0	11.622.368,4	13.783.791,7	5.546.708,3	3.107.166,7
Total	340	354,5	424,0	543,3	679,3	736,5	767,4

Tabela 2 – Consumo por consumidor- Média Mensal de GN em m^3

Fonte: Secretaria de Energia, Rec. Híd. San. – Boletim Informativo, Dez./2004

Essa introdução tem sido verificada em diversas regiões do país, onde verifica-se um aumento significativo em todos os setores, principalmente no setor induastrial e de transporte, que atualmente circulam pelo país, cerca de 1,5 milhões veículos (2006) convertidos a gás natural, e esse número só não é maior, devido a dificuldade de implantação de novos postos de abastecimento em regiões não atendidas por esse insumo.

Nota-se nas tabelas acima, que apesar de ter aumentado o número de consumidores de gás natural, o volume por consumidor tem diminuído, devido principalmente a variação internacional do petróleo que chegou a US$ 52,00/barril antes das eleições de novembro de 2004 nos Estados Unidos da América, e em meados de 2005 chegou a US$ 65,00/barril, e em 2006 a US$ 75,00/barril, e 2007 a US$ 100/barril, devido a crise no Oriente Médio, gerra entre Libano e

Israel, e crise na ocupação no Iraque. Mas apesar desse aumento, o gás natural minimizou a crise energética vivenciada no país.

Atualmente, no inicio do novo milênio (2000-2004) e com a economia globalizada em franca expansão, o Brasil tem vivenciado um crescimento de suas exportações, de produtos in natura e de manufaturados, e em 2004 teve um dos melhores desempenhos de sua economia com aumento de cerca 4,5%, e isso tem exigido uma demanda de energia cada vez maior, mas a inércia do governo em investir em geração nos últimos vinte anos, tem causado sérias preocupações quanto a continuidade desse desenvolvimento.

Um exemplo desse otimismo foi o desempenho no Estado de São Paulo, o mais industrializado do país, onde obteve um aumento de consumo de energia elétrica de 98.780 GWh em 2004, ante 93.526 GWh de registrado em 2003, significando um aumento real de 5,6%, distribuídos da seguinte forma conforme a Secretaria de Energia, Recursos Hídricos e Saneamento do Estado de São Paulo – Boletim *Informativo, Dezembro/ 2004*, conforme mostra a gráfico 3.2.1:

- Na classe industrial responsável por 45,9% do mercado total, teve um consumo registrado em 2003 de 42.078GWh, para 45.286 GWh em 2004 significando um aumento de 7,6%, o maior do ano;
- Na classe residencial responsável por 25,1% do mercado, teve um aumento registrado em 2004 de 4,1% sobre 2003, com um consumo de 24.799 GWh, com 11,8 milhões de consumidores e a média de 176 kWh por consumidor;
- Na classe comercial, com uma representação de 17,2% desse mercado, teve um consumo de 17.022 GWh no ano de 2004, com um aumento 4,4% em relação a 2003.

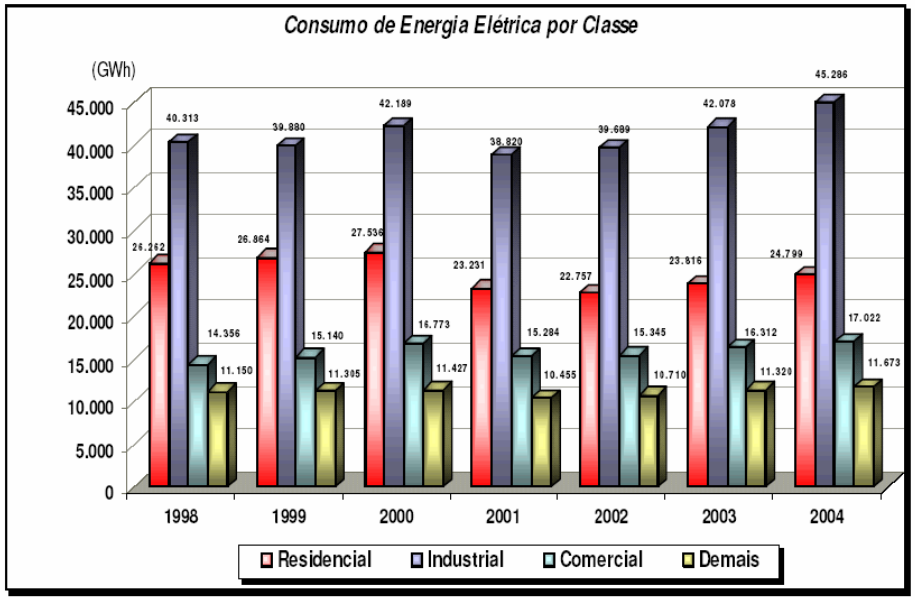


Figura 3.2.6 – Evolução do consumo de energia elétrica no Estado de São Paulo

Fonte: Secretaria de Energia, Recursos Hídricos e Saneamento – Dezembro /2004

Já no ano de 2005, o consumo de energia elétrica no Estado de São Paulo, incluindo autoprodutores, foi de 118.439 GWh, registrou um aumento de 6,7% em relação ao ano anterior que foi de 111.011 GWh, o que confirma essa tendência de crescimento da demanda de energia elétrica, apontada pelo Balanço Energético Paulista 2007, ano base de 2006.

3.3 - Investimentos no setor energético

No período compreendido entre 1994 a 2001, portanto no primeiro governo do Presidente Fernando Henrique Cardoso, teve o inicio das privatizações no país, onde o governo operava com grande deficiência nos setores de transporte, telecomunicações e do setor elétrico, inicialmente na concessão da distribuição, posteriormente na transmissão e em algumas em geração de energia.

Aos poucos o governo foi se desfazendo de algumas de suas usinas, algumas bastante eficientes, capazes de gerar eletricidade a um custo de US$ 5,00/MWh.

A venda começou pelas distribuidoras, e os contratos não foram muito interessantes para o consumidor brasileiro, um exemplo disso é que **Furnas – Centrais Elétricas**, gerava eletricidade a US$ 23,00/MWh, e as concessionárias como a *Light* do Estado do Rio de Janeiro, que passou a ser uma subsidiária de uma empresa estrangeira, comprava energia a esse preço, e a repassa a US$ 100,00/MWh para o setor residencial.

No país de origem, essa mesma subsidiária repassa aos seus consumidores a US$ 75,00/MWh da energia gerada em usinas nucleares, onde o insumo principal (urânio enriquecido) tem um custo considerável no processo de enriquecimento e descarte do produto, que são muito mais caras que as hidrelétricas, sem custo pelo insumo, aproveitando-se apenas da energia cinética utilizada no processo.

Outro problema foi que, devido a cláusulas contratuais bastante generosas, essas empresas não foram obrigadas a investir na expansão e modernização do sistema durante oito anos. Dessa forma, praticamente todo lucro era repassado aos acionistas como dividendos, repassando as dívidas contraídas pelas concessionárias para o **BNDES** – **Banco Nacional de Desenvolvimento Social**, órgão do governo federal que financia o setor produtivo com juros reduzidos, como ocorreu com a **Cemig – Companhia Energética de Minas Gerais**, assumida por um grupo norte americano que remeteu US$ 300 milhões de dólares ao país de origem, conforme Vichi (2004).

Mas o principal problema, ou mérito, é que a maioria da geração de energia continua nas mãos do governo, e o país parou de investir no sistema, devido a necessidade de apresentar superávits fiscais impostas pelo **Fundo Monetário Internacional - FMI**. Entre 1994 e 2001, o aumento da capacidade instalada foi de apenas 2.700 MW no sistema.

Os investidores privados preferiram comprar usinas prontas a investir na ampliação do sistema, e como a demanda continuou a crescer, devido a uma série de fatores, restou uma única alternativa: consumir as águas desses reservatórios, dando inicio ao processo de racionamento, agravado no período de 2001-2002.

Mas especialistas já tinham alertado o governo, já em 1995 que a curva da oferta e demanda de energia se cruzariam em 2000, porém as chuvas generosas do verão de 1999/2000 permitiram o adiamento da crise, quando no final do ano de 1999 os reservatórios continham apenas 18% de sua capacidade, o menor da história, e no inicio de 2000 com as chuvas, as reservas subiram para 29,7% em junho, provando mais uma vez que “Deus é brasileiro”.

Como tudo que se utiliza tende a se acabar, se não for reposta, no verão de 2000/2001, o índice pluviométrico no período registrado foi bem abaixo da média histórica, e, com os reservatórios em estado crítico, restou ao governo apenas uma alternativa, a decretação do racionamento de energia elétrica.

Para que se possa entender a ocorrência desse racionamento, qualquer pessoa que tenha estudado a capacidade de geração de energia hidrelétrica no país pode parecer absurda. Mas a somatória de diversos fatores, evidenciando dados climáticos e o político-econômico, levaram o país a essa situação.

A inexistência de um sistema alternativo que pudesse alavancar o sistema, contribuiu para o fato. O governo não percebeu que, para o investidor privado, a construção de usinas termelétricas, cuja operação só ocorreria em ano de baixa produção de energia hidrelétrica, não era muito atraente. Essas usinas deveriam ser estatais, uma vez que serviriam apenas como um backup do sistema, e não operariam continuamente.

Esse racionamento ocorreu porque o sistema elétrico nacional é praticamente mono-energético, ou seja, hidráulico em sua maioria, respondia com mais de 90 % do setor de geração, caso isolado com relação aos outros países, onde há integração de sistemas variados de geração de energia, que além da hidráulica (pouco representativa), a energia elétrica é gerada em termelétricas a gás natural, a carvão mineral, energias nucleares, solares, eólicas, e outros.

Com a ajuda das mudanças climáticas, quando ocorreram maiores precipitações acima da média no período, a situação começou a se normalizar no verão de 2002/2003 e 2004/2005. Onde atualmente o sistema opera com 70% de sua capacidade, o que não significa que problemas futuros estejam sob controle.

Somente com a retomada dos investimentos na ampliação do sistema, com as margens de risco anteriores à crise, aliada a uma política de energias alternativas energéticas (eólicas, biomassa, termelétricas e nucleares) pode se minimizar e evitar riscos de racionamento no futuro, que possam comprometer o desenvolvimento do país como um todo, saindo da condição de eterno "país em desenvolvimento", que se ouve há décadas.

Atualmente, segundo a **ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica** – em janeiro de 2005, o país contabiliza atualmente **1.399 empreendimentos** em operação, gerando **90.793.454 kW** de potência.

Está prevista para os próximos anos uma adição de 34.161.189 kW na capacidade de geração do Brasil, proveniente de 69 empreendimentos que estão atualmente em construção e mais de 526 outorgadas, conforme mostra o gráfico da tabela 3 abaixo.

Tipo	Quantidade	Pot. Outorg.	Pot.Fiscal.	em Construção	Pot.Outorg.	à Construir	Pot.Outorg.
Central Geradora Hidreletrica-**CGH**	170	89.290	88.554	1	848	46	30.572
Central Geradora Elétrica-**EOL**	11	31.075	28.625	0	0	147	6.643.823
Pequena Central Hidrelétrica-**PCH**	250	1.247.900	1.215.625	37	445.112	209	3.411.915
Central Central Solar Fotov.-**SOL**	1	20	20	0	0	0	0
Usina Hidrelétrica de Energia-**UHE**	144	70.256.234	67.882.069	18	4.371.436	22	5.109.600
Usina Termelétrica de Energia-**UTE**	821	24.720.622	19.571.561	13	1.103.398	102	13.044.485
Usina Termonuclear-**UTN**	2	2.007.000	2.007.000	0	0	0	0
Total	**1.399**	**98.352.060**	**90.793.454**	**69**	**5.920.794**	**526**	**28.240.395**

Tabela 3 – Capacidade Instalada e Empreendimentos

Fonte: Aneel - Banco de Informações de Geração do Brasil – 31/01/ 2005

No segundo ano do Presidente Luiz Inácio Lula da Silva (2003-2006), com as receitas comprometidas e, carência de recursos financeiros para novos empreendimentos, o governo se empenha na criação de uma parceria com a iniciativa privada, que viabilizaria investimentos em infra-estrutura, bastante deficitária e em estado critico de manutenção, seja em saneamento básico, transportes e eletricidade.

Essa parceria permitiria a abertura de novos mercados de geração e distribuição de energia elétrica no país, a partir das **Parcerias Público Privada - PPPs**, aprovadas pelo Congresso Nacional no final de 2004 e sancionadas pelo presidente no início de janeiro de 2005, o que facilitaria os investimentos do setor privado juntamente com o governo, com a garantia de exploração de tarifas durante 35 anos, minimizando a falta de energia pelo menos a médio e longo prazo, o que poderia comprometer a continuidade do crescimento econômico vivenciado no ultimo ano no país.

De acordo com Rondeau (2005), o Brasil tem grandes reservas de recursos naturais que podem ser viabilizados, se devidamente comprometido com a nação no atendimento dessa demanda crescente, como mostra a figura 3.3.1, abaixo.

PRINCIPAIS FONTES PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	
HIDRÁULICA	Vantagem competitiva do país Recurso renovável Potencial de energia elétrica de 260 GW (28% aproveitado)
BIOMASSA	Potencial expressivo para geração de energia elétrica (bioeletricidade) Recurso renovável Potencial de oferta superior a 500 MW/ano
CARVÃO MINERAL	Importantes reservas de carvão mineral 32 bilhões toneladas (90% Rio Grande do Sul) Potencial de 20.000 MW durante 100 anos (considerando utilizar 50% para geração de energia elétrica)
NUCLEAR	6ª maior reserva de urânio do planeta 32 bilhões de toneladas (equivale a 1,2 bilhão de tep) Alto potencial na geração de energia elétrica
GÁS	Reservas de 306 bilhões m^3 (equivale a 0,3 bilhão de tep) Produção 48 milhões m^3/dia (2005) 50% do mercado de Gás Natural é atendido com produção nacional (2005)
	tep – tonelada equivalente de petróleo

Figura 3.3.1 – Principais Fontes de Energia Elétrica do Brasil

Fonte: Rondeau (2005)- MME

Uma amostra de que esse comprometimento coloca em risco o desenvolvimento do país, é a inércia desse governo em viabilizar a exploração do campo de gás natural da bacia de Santos, que apesar de confirmada em 2004, até em meados de 2007 não se tinha iniciado sua exploração e comercialização. Enquanto que nos meses de setembro e outubro de 2007, devida ao aumento da demanda, a Petrobrás, resolve romper o fornecimento para os Estados de São Paulo e Rio de Janeiro, Comgás-SP e Ceg-RJ, maiores consumidores de gás natural do país, comprometendo os grandes consumidores, principalmente as indústrias e proprietários de veículos convertidos a gás natural, para o atendimento de fornecimento a termelétricas a gás natural.

Contudo existem grandes projetos hidrelétricos em andamento no Rio Madeira, região norte do país, como as usinas de Jirau, com potência de 3.150 MW e a usina de Santo Antonio , com potência de 3.300 MW, previstas para entrada em operação das primeiras máquinas em janeiro de 2011 e 2012, e a do Rio Xingu, com a usina de Belo Monte, com capacidade instalada

de 11.181 MW, com previsão de entrada em operação da primeira máquina em dezembro de 2013, segundo o Ministério das Minas e Energia – MME (2005).

Com a atual necessidade de ampliar o parque nacional de geração de energia, outra alternativa desenvolvida principalmente no Estado de São Paulo, é a geração de energia elétrica através da (biomassa) queima do bagaço e palha de cana de açúcar, em usinas de açúcar e destilarias de álcool, que além do suprimento da própria demanda, vende o excedente as concessionárias, aproveitando-se melhor os recursos disponíveis. E o biogás gerado nos aterros sanitários de São João e Bandeirante, na cidade de São Paulo, através da decomposição da matéria orgânica lançada nesses aterros, onde produzem energia suficiente para abastecer cerca de 200.000 pessoas.

A exploração deste potencial, traz benefícios para o meio ambiente e contribui para consolidar o modelo competitivo do setor elétrico, além de agregar ao sistema uma energia de baixo custo, imune às variações internacionais do preço do petróleo e cambiais, e que podem ser viabilizados em prazos relativamente curtos, contribuindo dessa forma, para a redução de déficit.

Outras medidas vêm sendo propostas, como o Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica - PDEEE de 2006 -2015, onde existe um cenário de referência, que devido ao um crescimento projetado do PIB – Produto Interno Bruto, em 4,2%, existe uma previsão de aumento da população de 2 milhões de habitantes/ano, existiria um aumento de consumo de e.e na ordem de 5,5% ano, o que necessitaria de um aumento da capacidade a ser instalada em 41.800 MW em 10 anos, e 41.300 km de aumento de linhas de distribuição, com investimentos de US$ 56 bilhões, conforme Rondeau (2006)-MME.

A distribuição da energia elétrica consumida por seguimento no país, está apresentada no gráfico da figura 3.3.2 abaixo, de acordo com o **Ministério das Minas e Energia -MME – 2004**, onde a grande preocupação do setor é a conscientização da forma eficaz de utilização, onde existem muitos desperdícios, através de negligencia do usuário, equipamentos ineficientes obsoletos, instalações e aparelhos ultrapassados, e isso tem contribuído no agravamento do abastecimento de energia elétrica.

Daí a necessidade de uma melhoria tanto das instalações elétricas já existentes, como também a necessidade de um melhor detalhamento durante a elaboração de novos projetos, procurando se utilizar de sistemas mais eficientes, para se minimizar as perdas e consequentemente a melhoria do sistema elétrico de todo o empreendimento como um todo, seja residencial, comercial ou até mesmo industrial.

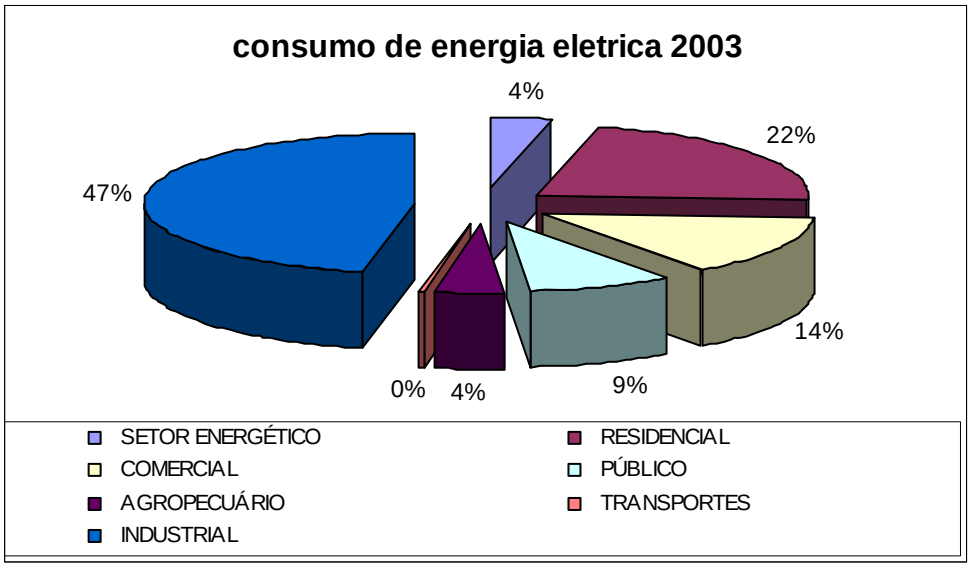


Figura 3.3.2 – Consumo de energia elétrica setorial – 2003

Fonte: Ministério da Minas e Energia - 2004

4 – Sistemas de Automação Predial

Os constantes aumentos das tarifas e a crescente demanda por energia elétrica em edifícios, na ordem de um terço de toda energia mundial, trouxeram a preocupação de se tornar mais racional o consumo de energia nas construções prediais, sem interferência humana, principalmente em instalações responsáveis por grande demanda, como condicionamento ambiental, iluminação interna e externa, e até mesmo em sistemas de bombeamento e outros equipamentos de grande consumo.

O rápido crescimento e desenvolvimento de novas tecnologias e padrão de comunicação (fibra óptica, comunicação sem fio, *wireless*, *bluetooth*, rádio freqüência, celulares), e sistemas de tecnologia de informação –TI, velocidade de processamento em microcomputadores, novos padrões de desenvolvimento de softwares, fez surgir novas aplicações dessa tecnologia, como na supervisão e controle de sistemas prediais, de acordo com Mariotoni & Andrade Jr (2001).

"Um edifício é uma construção destinada a alojar pessoas, fornecendo a elas as condições necessárias para o desenvolvimento das atividades previstas da melhor forma", esta é a definição proposta por Giancarlo Corazza em seu texto *Il concetto di Edifício Intelligente*, Apud, Neto (1995)

Ainda que tal conceito seja puramente arquitetônico, já se pressupõe a existência de uma série de instalações e serviços necessários para manutenção das condições saudáveis de habitação e trabalho dentro do edifício.

Para que se possam supervisionar as operações atualmente encontradas nos edifícios comerciais, onde se oferecem melhores condições de conforto visual e ambiental, comodidade e segurança aos usuários mais exigentes, têm levado o comércio varejista incorporar cada vez mais em sistemas de supervisão e controle que minizem os transtornos causados dentro do estabelecimento comercial, tornando um ambiente agradável.

Assim, tem sido incorporados diversos dispositivos de automação para facilitar a supervisão em diversos sistemas prediais, obtendo maior controle no gerenciamento e

manutenção dos sistemas elétricos prediais, cada vez mais sofisticados, como a iluminação com sistema de dimerização, segurança, intrusão, sistemas de refrigeração de alimentos e ambiental, circuito fechado de televisão (CFTV), controle de acesso, transporte vertical, transporte horizontal, chancelas eletrônicas, telecomunicações, Internet, intranet, *wirelles*, rede de incêndio, bombas de recalque, controle de estacionamento de veículos, etc.

Entretanto, observa-se que tais instalações e serviços funcionam de maneira totalmente independente uns dos outros e podendo se comunicar e interagir entre si, através de um sistema supervisor, onde quase sempre foram instalados em etapas distintas da vida do edifício, adaptando-se deste modo a situação existente e sem influenciar na concepção estrutural da edificação.

A partir deste conceito e das novas tecnologias da informação e comunicações, aparece uma nova forma de projetar e construir, que está sendo adotado nos modernos edifícios, onde se observam uma preocupação maior na adaptação de novas tecnologias, além da integração dos sistemas de instalações prediais, assim como novas aplicações.

Uma das principais entidades que aplicam o conceito de Edifício com Alta Tecnologia pelo mundo, o ***IBI – Intelligent Buildings Institute*** – define como "aquele que proporciona um ambiente produtivo e econômico através da otimização de quatro elementos básicos – Estrutura, Sistemas, Serviços e Gerenciamento – bem como das inter-relações entre eles".

Segundo a **ABCI – Associação Brasileira da Construção Industrializada (1993) -** a definição acima pode ser assim entendida: "Edifícios com Alta Tecnologia são aqueles que possuem um bom e atualizado projeto e uma construção racional e econômica; ou aqueles que são bem projetados e construídos, levando-se em conta as exigências de uso e evolução tecnológica", conforme relata Marte (1995).

Pode-se dizer, portanto que o conceito fundamental das construções prediais com alta tecnologia visa proporcionar principalmente o controle energético, a segurança, a eficácia e a comodidade do usuário.

Atualmente existem no mercado excelentes produtos dedicados ao controle e supervisão na área de automação predial, principalmente do setor comercial. Porém, existem algumas vantagens e desvantagens, se comparados aos sistemas industriais.

A escassez de informação sobre o assunto é bastante significativa, principalmente entre fabricantes, que apenas cumprem a tarefa de mencionar a forma de operação e as qualidades técnicas individuais, e sua área de aplicação, onde a maioria deles é inflexível, e muitas vezes não permite ao usuário adaptá-lo a sua necessidade, obrigando-o a se adaptar ao pacote imposto pelo fornecedor, e não apenas as necessidades do usuário, conforme apresentado em Souza,M.AB. 2004.

Outro problema é a dificuldade de interconectividade entre os sistemas de fabricantes diferentes, onde a maioria trabalha com protocolo de comunicação fechado, não permitindo ao usuário a implementação de novos módulos de controle, que não pertença ao disponibilizado pelo fabricante.

Nas indústrias, com o avanço da complexidade dos processos de fabricação, os fornecedores de atuadores e controladores industriais estão se utilizando cada vez mais de sistemas de sensoriamento e controle descentralizados, interligados via rede de comunicação, da mesma forma que um controlador de um sistema predial, levando as informações ocorridas no processo industrial na sala de monitoramento e controle, figura 4.1.

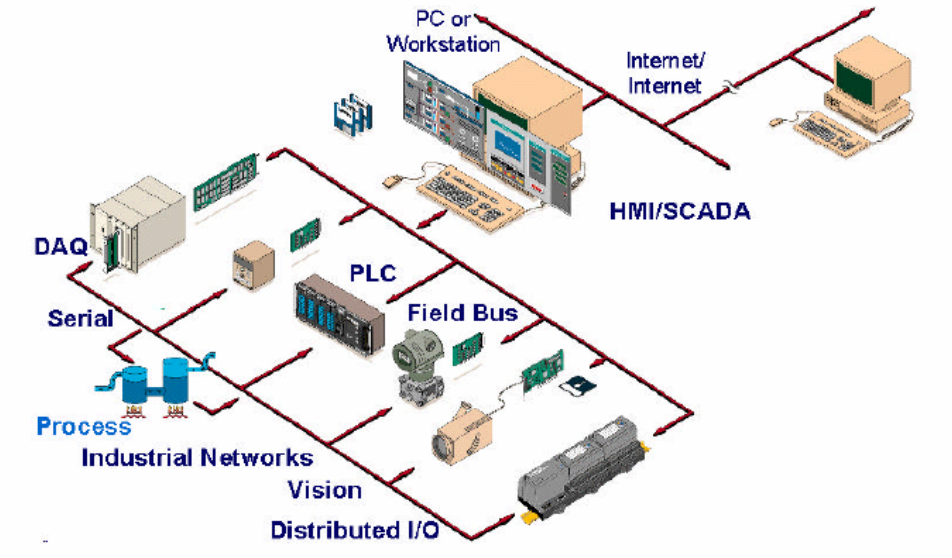


Figura 4.1 – Sistema de controle industrial

Fonte: Lab EE – UERJ – curso de CLP

Já nos anos 80, surgem novos requisitos de conforto, de segurança, de flexibilidade dos locais de trabalho, e novas e maiores necessidades de serviços de telecomunicações e processamento de informações. Isso deu origem ao aparecimento, nos edifícios, de três sistemas fundamentais:

- O sistema de automação e gestão de edifícios, responsável pelo controle das instalações técnicas, pela detecção de incêndios, pela gestão de energia, pelo controle de iluminação, pela climatização, etc;
- O sistema de telecomunicação, envolvendo comunicações de voz, comunicação de dados, comunicação com o meio externo, etc;
- O sistema computacional, que inclui sistemas de informação, escritório, sistema de apoio de decisão, automação de procedimentos, etc.

Uma nova ciência, a domótica pode ser entendida como um conjunto de subsistemas de automação que formam um único sistema integrado de serviços, tais como:

- Distribuição de energia elétrica e controle de demanda;

- Controle de iluminação e simulação de presença;
- Controle de funcionamento de aparelhos eletrodomésticos;
- Controle bioclimático através de calefação, ventilação e condicionamento de ar;
- Controle de acessos: portas, janelas e cortinas automáticas;
- Distribuição, filtragem e aquecimento de água;
- Controle de Segurança: detecção e controle de intrusos, incêndios e vazamentos;
- Comunicação e acesso remoto.

A domótica, que também pode ser referenciada por expressões como "smart building", "intelligent building", "edifícios inteligentes", Maeda (1993) é um novo domínio de aplicação tecnológica, tendo como objetivo básico melhorar a qualidade de vida, reduzindo o trabalho doméstico, aumentando o bem estar e a segurança de seus habitantes e visa também uma utilização racional e planejada dos diversos meios de consumo Arkin (1997). A domótica procura uma melhor integração através da automatização nas áreas de segurança, de comunicação e de controle, e gestão de fluídos.

Os elementos que constituem a cadeia funcional da domótica são: Sensores, Transdutores, Detectores e Redes Domóticas. A questão habitacional se traduz em uma exigência de qualidade e aproveitamento dos espaços, formulado em termos de edificação como: superfície mínima habitável, condições de salubridade e higiene, condições de iluminação e ventilação dos locais, etc. A integração das novas tecnologias existentes busca dar resposta a essa crescente exigência de qualidade. Para tanto, pôde-se observar um desenvolvimento de produtos e serviços para criar um habitat inteligente, tanto para o setor terciário como para o residencial.

4.1 - Conceito de Edifício Inteligente

A indústria da microeletrônica tem apresentado, nos últimos tempos, uma evolução espantosa, criando-se equipamentos cada vez menores e mais ágeis, e custos cada vez mais reduzidos. E sua disseminação tem-se verificado em todas as áreas da atividade humana, principalmente no setor de automação, que cada vez mais está sendo incorporado nas construções.

A definição de "Edifícios Inteligentes" é bastante desencontrada, de acordo com Wigginton e Harris, Apud, Wong (2005) at al, existem pelo menos 30 diferentes conceitos.

Do ***Intelligent Building Institution*** de Washington, é aquele que integra vários sistemas no gerenciamento de modo a maximizar o desempenho técnico e operacional, e surgiu nos EUA em 1988, é uma definição puramente tecnológica, contestada por grande número de pesquisadores.

O IBI -***Intelligent Building Institute*** dos Estados Unidos define um edifício inteligente como "aquele que permite a criação de ambientes produtivos e custos efetivos através da otimização de quatro elementos básicos: (1) estrutura, (2) sistemas, (3) serviços e (4) gerenciamento, interagindo entre eles", Maeda (1993).

Já o EIBG-***European Intelligent Building Group*** , do Reino Unido, define como "aquele que cria um ambiente que disponibiliza uma disposição de forma que seus escritórios sejam objetivos e maximizam a eficiência de seus ocupantes e simultaneamente oferece uma manutenção eficiente dos recursos com um mínimo de custo e dispêndio de tempo". A diferença é que o Reino Unido está enfocado nas necessidades do usuário, enquanto que os Estados Unidos está mais enfocado nos recursos tecnológicos, de acordo com Wong (2005).

No Japão, o IBSC (***Intelligent Building Study Commitee)*** define edifício inteligente sob três pontos: o prédio deve conter: (a) um bom ambiente para as pessoas e equipamentos, (b) bom suporte para alta produtividade dos trabalhadores do escritório e (c) boa segurança contra

incêndio, patrimonial e individual, além de operação altamente econômica, Maeda (1993), Apud – Arakaki, at al (2001).

Embora sem uma definição formal, eram intensamente relacionados à utilização de alta tecnologia. Em Simpósio Internacional realizado em Toronto, em maio de 1985, surgiu a seguinte definição: “Um edifício inteligente combina inovações, tecnológicas ou não, com capacidade de gerenciamento, para maximizar o retorno do investimento”. A edição de novembro de 1985 da revista *Engineering Digest* apresentava um artigo sobre edifícios inteligentes. As revistas *Fortune, Forbes e Business Week* seguiram a tendência publicando extensas matérias sobre o mercado de automação predial”, conforme Saramago (2002).

Assim pode-se concluir que, na década de 80, os sistemas de automação com aplicações em sistemas de segurança, iluminação e intrusão, mostraram coordenação entre componentes do mesmo. E o *Lloyds Building* (figura 4.1.1) foi o primeiro da geração dos Edifícios Inteligentes. Construído em 1986 na cidade de Londres e projetado pela *Richard Roger Partnership*, em que no seu sistema de gestão do edifício incluía avanços tecnológicos bastante evoluídos na a época, porém estes sistemas operavam de forma independente, ou seja, automação localizada sem integração entre outros elementos do sistema.

Figura - 4.1.1- Lloyds Building

Fonte: SARAMAGO (2002) at al

Paralelamente, no Brasil, conforme MARTE (1995), nesse mesmo ano foram entregues duas grandes obras em São Paulo, de edifícios onde se incorporavam essas tecnologias, o edifício do **Citibank** (figura 4.1.2) na Avenida Paulista, na cidade de São Paulo, que foi o pioneiro edifício de alta tecnologia construída no Brasil, projetado pela companhia nacional ATT com 2500 pontos de supervisão e controle.

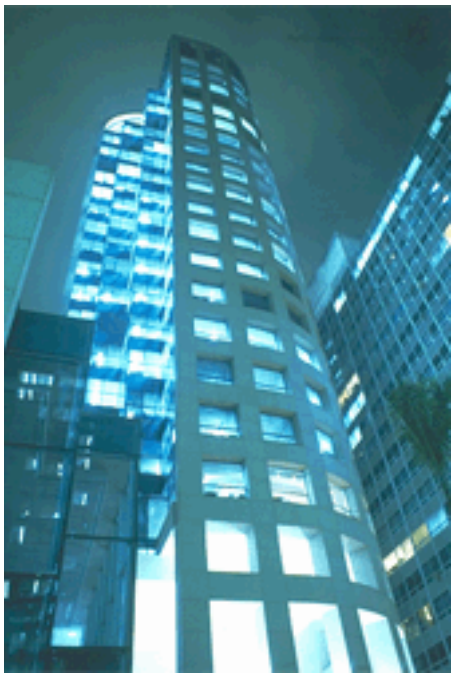


Figura 4.1.2 – Citbank – Avenida Paulista – visão noturna

Outro importante empreendimento, também em São Paulo, foi a construção do Centro Empresarial Itaú-Conceição (CEIC). Projetados com tecnologia nacional pelo consórcio Itauplan/Itautec, ambas pertencentes ao grupo Itaú SA, responsáveis pelas áreas de engenharia e equipamentos/sistemas, e posteriormente foram surgindo outros pelo país.

O desenvolvimento das redes de comunicação de dados no ambiente predial foi um passo decisivo para a integração dos diversos subsistemas, proporcionando, como conseqüência uma descentralização do controle.

Interessante salientar que, de acordo com Graça (Dep. Construção Civil-EPUSP) que o custo de implantação de Edifícios com Alta Tecnologia, é na ordem de 3% do total do empreendimento, considerando-se a vida útil é de 50 anos dessa edificação, e as despesas com folha de salários dos ocupantes, pelo mesmo período; ou mesmo pelo custo de manutenção dos equipamentos, previstos para durar em torno de 15 anos, ou mesmo se comparado aos custos de energia, e água com tendência de aumentos constantes, o retorno do investimento em tecnologia se dá em aproximadamente em 3 anos.

Em 1978, empresas como a *Leviton* e *X10 Corp* já haviam iniciado o desenvolvimento de suas linhas de produtos buscando explorar duas tecnologias fundamentais na moderna automação predial: redes de comunicação e eletrônica embutida nos próprios elementos de supervisão e controle. Sistemas de Automatização de edifícios e aplicações *X10 Smart Home* foram instaladas em aproximadamente quatro milhões de edifícios no ano de 1996.

Os fabricantes de controladores programáveis (CLP) se adaptaram a esta realidade e incorporaram a equipamentos a possibilidade de comunicação em rede através de diversos protocolos, proprietários ou padronizados por organismos internacionais.

4. 2 - Funções Domóticas e classificação

A classificação de funções Domóticas é realizada com o intuito principal de satisfazer a um número considerável das necessidades anteriormente discutidas. Assim são definidas, três grandes classes de funções segundo o tipo de "serviço" a que elas se destinam, as quais são divididas em sub-funções elementares, que podem ser facilmente analisadas:

4.2.1. Função de Gestão

Essa função tem áreas comuns com a função de controle. A função de gestão tem por objetivo automatizar um determinado número de ações sistemáticas. Um processo de automação em Domótica será realizado através de uma programação, um controle dos consumos e uma manutenção. As ações sistemáticas dessa função se relacionam principalmente com o conforto, e podem ser classificadas como:

i) gestão da iluminação;
ii) gestão da calefação, ventilação e ar condicionado;
iii) gestão da qualidade do ar;

iv) gestão de funcionalidades dos espaços.

4.2.2. Função de Controle

A função de controle dá ao usuário, por um lado, informações sobre o estado de funcionamento dos equipamentos e das instalações que os integram; e por outro lado, criam um registro dos diversos parâmetros e eventualmente, induzem comandos corretivos. Para tanto ele conta com controles instantâneos e memorizados. Essa função tem por objetivo atuar sobre os dispositivos de regulagem das instalações, com a finalidade de que as tarefas programadas sejam respeitadas. Finley & Kamae, (1993), Apud Saramago (2002).

As funções de controle associadas com um algoritmo ou com uma unidade de tratamento da informação conduzirão às funções de comando, que poderão ser classificadas em funções de Controle técnico, Segurança – tele-transmissão e Assistência – saúde.

4.2.3.Função de Comunicação

As capacidades de telecomando e de programação se aliam às potencialidades técnicas da interatividade, entre elas o controle e espaçamento de informações e serviços. A interatividade designa, por um lado, uma característica da comunicação que é uma mesma condição da domótica: "trata-se de promover sistemas, que pela padronização, podem se comunicar entre si por intermédio de redes auxiliares", e por outro lado, está indicando que o espaço do ambiente não será somente interativo, mas também "convivencial", Arkin & Paciuk (1995).

4.2.4. Redes Domóticas e padronização

A rede domótica é o elemento principal de todo o sistema domótico. Um sistema de cabeamento permite realizar a comunicação entre os diferentes dispositivos conectados a rede, sendo essencial para a domótica. As redes destinadas aos edifícios inteligentes se baseiam em aplicações, onde uma rede separada e independente é utilizada para cada função. É assim que existem redes destinadas à segurança, à detecção de incêndios, ao controle de acessos, à climatização, à informática.

As redes domóticas são, em termos gerais, redes polivalentes que permitem realizar diferentes funções a fim de simplificar a complexidade da instalação da rede. A mesma rede domótica assegura, por exemplo: as funções de segurança, conforto e gestão técnica. A rede pode estar constituída de um ou vários suportes de comunicação de acordo com as funções que esse sistema domótico realiza.

A elaboração e adoção de padrões para utilização em sistemas domóticos representa um desafio contínuo para pesquisadores e projetista. As características da rede e os protocolos de comunicação têm definido os padrões existentes. Por permitir a comunicação entre os diferentes equipamentos conectados a ela, a rede domótica é o principal componente de todo o sistema. Por sua vez, os protocolos de comunicação, por estarem em desenvolvimento e constante evolução competem entre si por um lugar de destaque, que pela sua eficiência ou pelo domínio do mercado, conforme Frota & Schiffer (1988), apud Saramago (2002).

4.2.5. Principais Padrões utilizados em Redes Domóticas

Normalmente, padrões concebidos para outras áreas tecnológicas, tais como a Automação Industrial, podem ser aplicados a domótica como, por exemplo: Modbus, DeviceNet, Controller Área NetWork (CAN), FieldBus e Profibus. Entretanto os principais padrões utilizados pelo mercado são os seguintes:

X-10: Possivelmente o primeiro padrão para automação residencial, introduzido há vinte anos no mercado. Utiliza a própria fiação elétrica para comunicações entre transmissores e receptores X10, moduladas na freqüência da voltagem, que serve como portadora. Em decorrência da qualidade de fiação, normalmente este padrão é limitado a pequenas e médias distâncias, sendo que para residências com área superior a 185 metros quadrados é necessária a utilização de amplificadores de sinal. Os atuadores e sensores são unidirecionais, não possuindo inteligência. É o padrão mais utilizado nos EUA neste seguimento.

Cebus: O protocolo para automação residencial CEBus (Consumer Electronic Bus) oferece dois sistemas padronizados pelo CEBus Industry Council, o primeiro fornece controle a baixas velocidades, aproximadamente até 10 Kbps, o segundo é utilizado para sistemas que utilizam altas taxas de transmissão de dados tais como transmissões de vídeo e som. O padrão é versátil ao permitir a utilização de vários meios de comunicação e linhas portadoras de energia tais como: par entrelaçado, rádio freqüência, infravermelhos, cabo coaxial e fibra óptica. O método de acesso ao meio físico se dá por CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection) e o chip responsável pelo hadware de comunicação e protocolo só é produzido por um fabricante, a Intellon Corporation em Ocala, na Flórida.

LONWORKS: Topologia de rede criada pela Echelon para automação predial e industrial. Por ser uma plataforma tecnológica de rede completas, aberta e projetada para implementar a interoperabilidade de redes de controle, é considerado um dos padrões mais completos em termos de recursos e utilização. O esquema de acesso ao meio físico se faz por CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance) ativada por eventos. Todo o foco deste padrão está num chip denominado Neuron que inclui todo o hardware de comunicação e protocolo de rede (Lon Talk).

BACnet: Padrão de controle para automação predial mantido pela ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers). Define protocolos para uso em quatro camadas do modelo de referência OSI: aplicação, rede, enlace de dados e física. Sua utilização é mais difundida no controle de bioclimático (HVAC), mas esta não é uma restrição.

EIB: O European Installation Bus, definido pela EIBA (European Instalation Bus association), possui uma topologia aberta. Implementa um sistema descentralizado com inteligência distribuída, com acesso ao meio físico por CSMA/CA. A instalação do barramento de dados é feita paralelamente ao fornecimento de energia, permitindo 64 dispositivos por linha, 12 por linha principal e 15 por linhas principais por Backbone.

A utilização de um padrão não é exclusiva em um sistema domótico. Mais de um padrão pode ser adotado e coexistir com outro numa aplicação de automação residencial ou predial.

Impulsionada pelos avanços tecnológicos, a domótica é um mercado novo e em um contínuo desenvolvimento, com fortes potencialidades de crescimento econômico. Sua popularização depende da ação conjunta de governadores, instituições de pesquisa e fabricantes de equipamentos.

Os sistemas domóticos têm por objetivo primordial, através da utilização racional e integrada de várias tecnologias, buscar a melhoria da qualidade de vida para os usuários do ambiente residencial. Apesar da variedade de padrões existentes, estes ainda têm dificuldades em conterem os requisitos necessários para transformar em realidade os anseios de seus usuários.

4.3. Evolução da Automação Predial

Um dos principais linhas de aplicação da Domótica se refere à Automação Predial, neste trabalho analisaremos o conceito de "domótica e tecnologias", salientando o conceito da integração de subsistemas que a compõem e de sua integração com o resto de um empreendimento, abordando equipamentos, sistemas, redes de dados, voz e imagem.

Pretende-se mostrar que o futuro enfocará o prédio como, um sistema de alta tecnologia, onde todas as funções e facilidades deverão ser gerenciadas a partir de um centro de controle único, otimizando o seu uso, gerando uma série de facilidades aos usuários, diminuindo significativamente a necessidade de deslocamento físico pelo uso de sistemas eletrônicos, aumentando consideravelmente o conforto e a eficiência interna, reduzindo ainda custos operacionais.

Esta tecnologia permitirá também que a operação do empreendimento, integrada às suas ferramentas de utilização e administração, seja otimizada ao limite em facilidade de uso, efici6ncia e economia de custos.

Ao mesmo tempo, o desenvolvimento dos sistemas que até uma certa época eram empregados de forma dispersa, permitiu urna evolução acelerada no sentido de uma operação integrada, que trará para um plano real, num curto prazo, alguns conceitos abordados nesse trabalho.

Hoje em dia já é possível automatizar todos os elementos existentes numa residência, desde as janelas, luzes, aparelhos até a climatização (controle de energia), a segurança, o conforto (controle das luzes e aparelhos) e as comunicações são os principais fatores passíveis de serem controlados de uma forma automatizada numa casa.

O nível do controle integrado de todas as operações que surgem os primeiros obstáculos à generalização da domótica no setor imobiliário. Existe o controle das luzes, o alarme, o controle dos aparelhos e da climatização, mas ainda é muito raro existirem todas estas aplicações na

mesma casa. Normalmente o cliente opta por algumas destas aplicações, mas os custos aumentam de uma forma exponencial quando se pretendem integra-las no mesmo processo de controle.

A principal diferença entre a Domótica e os Edifícios Inteligentes está essencialmente na escala e no grau de sofisticação da aplicação. Enquanto numa residência temos, por exemplo, dezena de pontos a controlar, num edifício este número é facilmente ampliado. Por outro lado, o grau de sofisticação de uma aplicação para uma residência pode e deve ser o mais simples possível, de modo a não obrigar o utilizador final a ter um determinado tipo de formação, enquanto que para um edifício o grau de sofisticação da aplicação geralmente obriga à formação de quadros específicos para lidarem com a "inteligência" do sistema de Gestão do edifício.

Uma vez identificado os serviços a serem oferecidos ao utilizador, é preciso escolher o método de transmissão de dados físicos a ser utilizado, onde deverão ser considerados os seguintes aspectos:

- Número de pontos a controlar;
- Tipo de integração dos serviços;
- Tipo de utilizador em questão;
- Grau de sofisticação da aplicação;
- Nível de segurança e confiabilidade da transmissão;
- Custos e facilidades de instalação;
- Velocidade e capacidade da transmissão de dados.

Todos estes fatores influem na escolha de uma solução e custo mais adequado. O fato de ainda não haver grande flexibilidade de opções no mercado e não existir mão-de-obra especializada para este tipo de instalações, faz com que haja muitas incompatibilidades e falhas na definição dos cadernos de encargos, além de muita especulação sobre o assunto.

O que provoca a necessidade da Domótica nas residências é a precisão do setor imobiliário dispor de opções de valor acrescentado para introduzir nos empreendimentos. Mais do que simples argumentos de marketing. Assim, os produtos de Domótica intervêm em áreas tão

úteis como são a segurança, o conforto e as comunicações. Opções variadas deverão surgir no decorrer dos próximos anos, com ênfase especial nessas áreas.

Atualmente as aplicações da Domótica mais utilizadas nas residências são as seguintes de acordo com Fujie & Mikami (1991), Apud Saramago (2002) :

- Corte automático do gás em caso de fuga;
- Corte automático da água em caso de inundação ou vazamentos;
- Controle energético (local e à distância);
- Controle de acessos (com marcador automático de chamadas);
- Controle manual e automático (programador horário) das luzes e aparelhos em casa;
- Controle de monitoramento (janelas e quartos, por exemplo);

Todas essas aplicações podem ser interligadas, atualizadas e ampliadas se forem implementadas de maneira estruturada. Dependendo do sistema, as modificações à instalação podem eventualmente ser feitas pelo próprio utilizador.

Outro aspecto importante a ser considerado é se a instalação se destina a casa acabadas ou em projeto. Os custos implicados são evidentemente diferentes e as soluções viáveis podem pôr em causa a aplicação de determinados sistemas.

No caso de casas acabadas deve considerar-se um sistema que use a rede elétrica para comunicar. Este tipo de sistema, além de ser de simples instalação não requer nenhum custo adicional (ao nível de obras). Por exemplo, podemos citar, o caso do sistema mais utilizado de rede elétrica, que é o sistema X-10, o mesmo é constituído por uma vasta gama de módulos compatíveis, capazes de realizar qualquer função de automação doméstica. Assim. ligam-se às tomadas já existentes e enviam sinais pela rede elétrica, com um protocolo de comunicações próprio (o protocolo X-10), permitindo controlar luzes, aparelhos ou motores espalhados pela mesma fase de corrente. O controle dos diferentes módulos pode ser feito por:

- Rádio Freqüência (Telecomandos);
- Pela rede elétrica (controladores);

- Por voz (através de um digitalizador de voz);
- Por programação horária;
- Por computador (através de uma interface compatível X-10)
- Por telefone de tons (através de um controlador telefônico);
- Automaticamente (por ação de atuadores ou sensores).

Ainda não existe no mercado compatibilidade entre todos os equipamentos. A IBM tinha o monopólio dos computadores até ao dia em que surgiram os IBM compatíveis. Ninguém arrisca aderir a um *standard* se tiver de partilhar o mesmo mercado com seus concorrentes mais diretos.

O que está acontecendo é que vão surgindo vários standards, consoante os “partidos” a que os principais fabricantes pertencem,ou seja, juntam-se vários fabricantes das diversas aplicações Domóticas e dos Edifícios Inteligentes e cooperam no sentido de juntos apresentarem uma solução global para a generalidade das instalações. Assim existem na Europa vários *standards* BATIBUS, EIBUS, JBUS, MODBUS, D2B, EIB, etc., nos Estados Unidos o CEBUS, X-10, SMART HOUSE, ECHELON, etc., e no Japão o TRON.

O mercado nacional está começando pelas soluções mais simples e úteis, devendo evoluir pela diferenciação tecnológica que cada marca proporciona. O grau de exigência será imposto progressivamente pelo próprio mercado.

4.3.1 – A incorporação de novos conceitos

Nas últimas décadas, principalmente pelos aspectos de segurança e flexibilidade, podemos constatar o aparecimento crescente de complexos imobiliários de grande porte. Pequenas lojas de rua e prédios de escritórios e com número reduzido de apartamentos passaram a conviver com *shopping centers* compostos por centenas de lojas, empreendimentos de escritórios de grandes proporções, condomínios habitacionais com uma enorme quantidade de unidades, todos eles com milhares de usuários, figura 4.3.1.

A tendência atual é a construção de prédios cada vez maiores, uma tendência mundial, onde a cada momento aparece um projeto que supera o anterior. Prédios com mais de cem pavimentos, shopping centers que, com mais de 300 lojas, passaram a ser considerados de médio porte; a1ém de complexos imobiliários multidisciplinares, associando escritórios, residências, shopping centers, hospitais, clinicas médicas, etc.

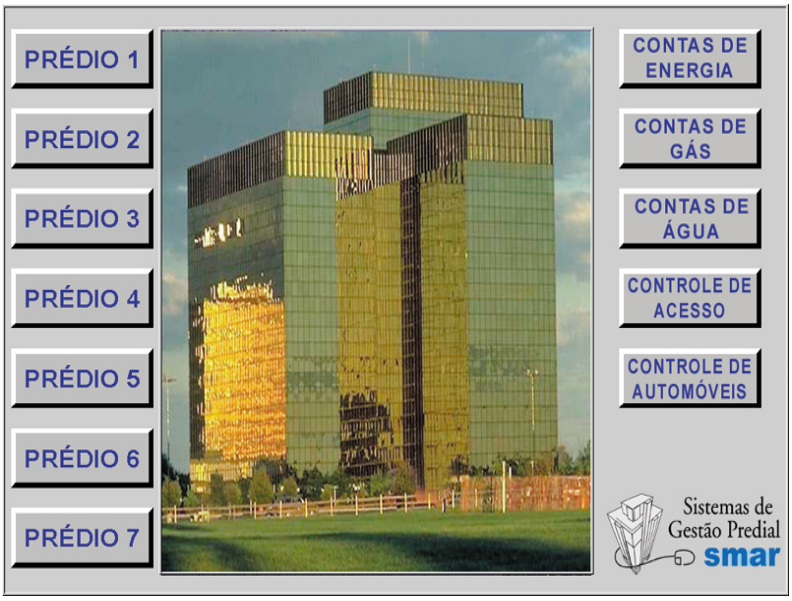


Figura 4.3.1 – Edifícios com sistemas de monitoramento remoto
Fonte: Empacotando sistemas prediais , Pini (2001)

Entretanto, as necessidades existentes neste padrão e porte crescem de forma. exponencial em relação à sua área, tanto em termos de automação de sistemas de segurança, acarretando num cuidado e a responsabilidade com relação ao gerenciamento dos sistemas destinados a controlar centros com estas dimensões torna-se muito grande, tanto do ponto de vista de otimização de sua operação e manutenção como da redução do custo condominial, hoje fator determinante na viabilização destes empreendimentos.

Ao mesmo tempo a tecnologia de automação, tem respondido ao mercado oferecendo uma gama de soluções com qualidade, durabilidade e custo reduzido, permitindo assim, que o enfoque dos projetos de sistemas integrados para o controle destes complexos possa evoluir, acompanhando assim este crescimento.

Até pouco tempo, automatizar prédios significava criar um conjunto de controles para suas funções mais importantes, dando ao empreendimento uma condição operacional um pouco mais evoluída que a operação manual. Porém, faltavam condições técnicas e gerenciais para que se pudesse efetuar a implantação de sistemas que atuassem nos prédios de forma integrada, objetivando tirar partido do estado efetivo da arte do setor de automação, no sentido de se otimizar, de fato, a operação, minimizando custos e maximizando a eficiência.

Estas condições se tornaram realidade, determinadas pelo estágio de padronização de comunicações e de protocolos, pela modernização dos equipamentos de campo (que viabilizam o uso de algoritmos de controle cada vez mais complexos e interativos) e, principalmente, devido a softwares mais evoluídos, com a possibilidade de integrar este conjunto de funções em urna interface homem máquina eficiente - a tela do computador de controle, que passa a ser a janela efetiva para que se possa conversar com o prédio e com suas funções associadas.

A evolução do conceito e tamanho dos novos empreendimentos imobiliários determina o uso de novas soluções, de forma que suas equipes operacionais possam enfrentar a complexidade crescente de seu gerenciamento e administração.

A construção de prédios, para que seus usuários possam dispor destas facilidades de forma integrada e otimizada, é o foco que deve ser dado hoje, com maior relevância para aqueles cuja construção se inicia, tornando atualmente, obrigatório aos projetistas incorporarem aos empreendimentos a tecnologia mais atualizada possível, garantindo que o resultado estará o mais próximo da realidade na época em que o prédio iniciar sua operação.

4.3.2 – O Cabeamento Estruturado

Num passado recente, era rara a utilização de computadores em empreendimentos imobiliários. Entretanto nos últimos anos, este quadro esta se alterando radicalmente, com um crescimento geométrico na utilização destes equipamentos, a ponto de dar ensejo a uma alteração profunda no processo construtivo dos prédios, utilizando-se cada vez mais do sistema de

comunicação através do cabeamento estruturado (*cabling*), figura 4.3.2.1. Pavimentos de 1.000 m2, que antes teriam talvez dois ou três equipamentos, passaram a comportar da ordem. de um a cada 10 m2, ou seja, de 100 a 150 computadores em cada pavimento.

Esse tipo de comunicação está cada vez mais popular, mesmo em sistemas domésticos, onde existem dois ou mais computadores já é possível conectá-los, fazendo com que haja comunicação entre eles, e externamente através da rede mundial de computadores, a internet de banda larga, isso tem facilitado muito a vida do homem contemporâneo, onde muitos trabalham em casa.

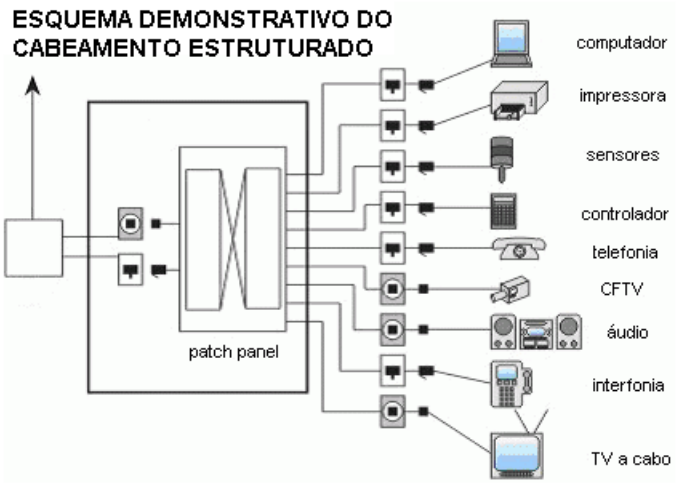


Figura 4.3.2.1: Cabeamento estruturado
Fonte: Aureside: www.aureside.com.br/artigos

A necessidade de conectá-los em rede, e dotar seus usuários de pelo menos um ponto de telefone (internet), determinou fatores de projeto e implantação que antes não eram considerados. No nível do pavimento, este cabeamento passou a ser denominado de "horizontal".

As necessidades de redes e configurações dos ramais telefônicos definiram a criação de um ambiente novo em cada pavimento, denominado “closet” de comunicações, onde os cabos dos computadores e dos telefones são trazidos e alocados a painéis de configuração, os

denominados “*patch panels”*, e criação de um espaço para a alocação de equipamentos, que antes não era necessária, como mostra a figura 4.3.2.2.

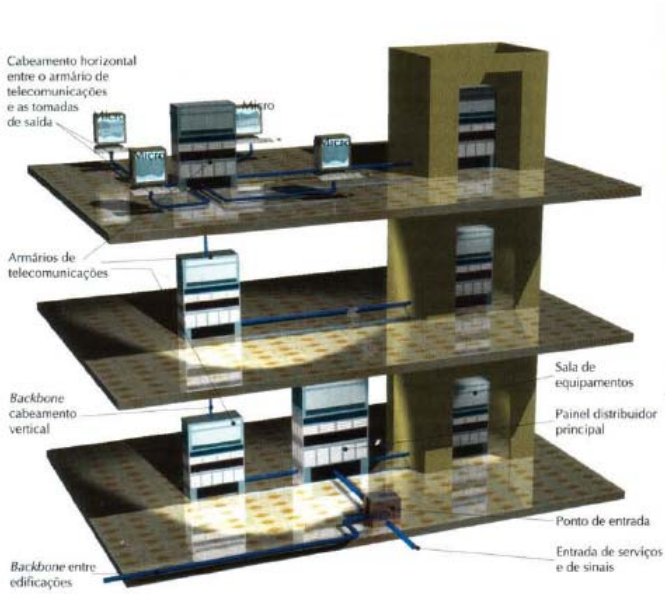


Figura 4.3.2.2- Sistema de cabeamento horizontal e vertical de um edifício
Fonte: Revista Téchne nº 60. ano 2002.

Trazer estes cabos para a base do prédio, conectá-los aos pontos externos de dados e à Central de Telefonia gerou o denominado “cabeamento vertical" e a criação de um espaço - o *Main Closet*, destinado a centralizar as comunicações de voz e dados do empreendimento. Antes era uma, a Sala de Automação; agora, dependendo do prédio, são três espaços destinados a Automação, Segurança e Comunicações.

Por outro lado, a tecnologia permitiu esta evolução, através do desenvolvimento de cabos com capacidade de uso tanto para rede de dados como para sistemas de voz, em velocidades de 100 Mbps até 250 Mbps, viabilizando assim normatizar e ordenar de forma adequada os cabeamentos horizontais e verticais.

Através disso tornou-se possível integrarmos com segurança, numa só rede de dados, voz e imagem, todos os serviços de um empreendimento, decisão que viabiliza a concentração

das informações e dos centros de decisão, e ao mesmo tempo, possibilita o acesso a estas informações de forma totalmente distribuída, tanto lógica, quanto fisicamente, figura 4.3.2.3.

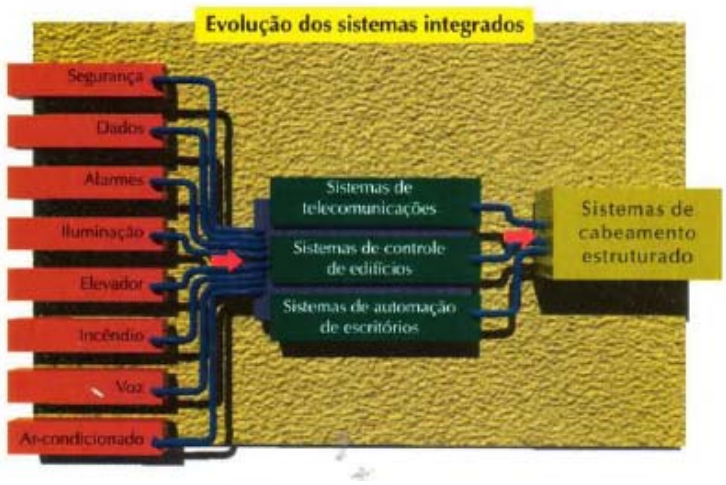


Figura 4.3.2.3– Evolução dos sistemas integrados

Fonte: Revista Téchne nº 60, ano 2002.

Outro ponto a ser considerado é que a integração de setores externos ao empreendimento passa pela modernização de conceitos de implementação deste, de forma a permitir que de um lado, exista um tráfego local de informações coerentes com o volume de negócios da organização, representados pelo conceito de redes locais; e de outro, a possibilidade de acessos a múltiplos setores externos, sem uma degradação da capacidade de processamento e transporte de informação. Insere-se neste contexto, com grande força, o acesso a Internet, Infovias em cabo ótico ao longo de cidades, estados e mesmo países, redes corporativas privadas etc.

A evolução tecnológica que ocorre no setor de cabeamento estruturado, com normas claras e equipamentos com maior capacidade, tem permitido que organizações de porte, em prédios únicos ou multi-prédios, possam implementar este tipo de estrutura. Outro ponto a ser ressaltado é que esta evolução tem feito crescer o potencial dos meios, em capacidade e facilidade, sem acarretar incremento significativo de custos, uma vez que se trata, de fato, da substituição de toda a instalação antes prevista para a telefonia tradicional.

O desenvolvimento de um bom projeto gera as condições para que as possibilidades destes sistemas sejam exploradas ao máximo, provendo os edifícios comerciais de soluções de custo/benefício adequadas para a distribuição de telefonia, a1ém de Redes de Informática, a própria instalação do Sistema de automação predial com seus subsistemas (Som, CFTV, Segurança Patrimonial etc.) e deixando o empreendimento pronto para os novos saltos tecno1ógicos das telecomunicações, no que se refere à velocidade de transmissão de dados, teleconferências, etc .

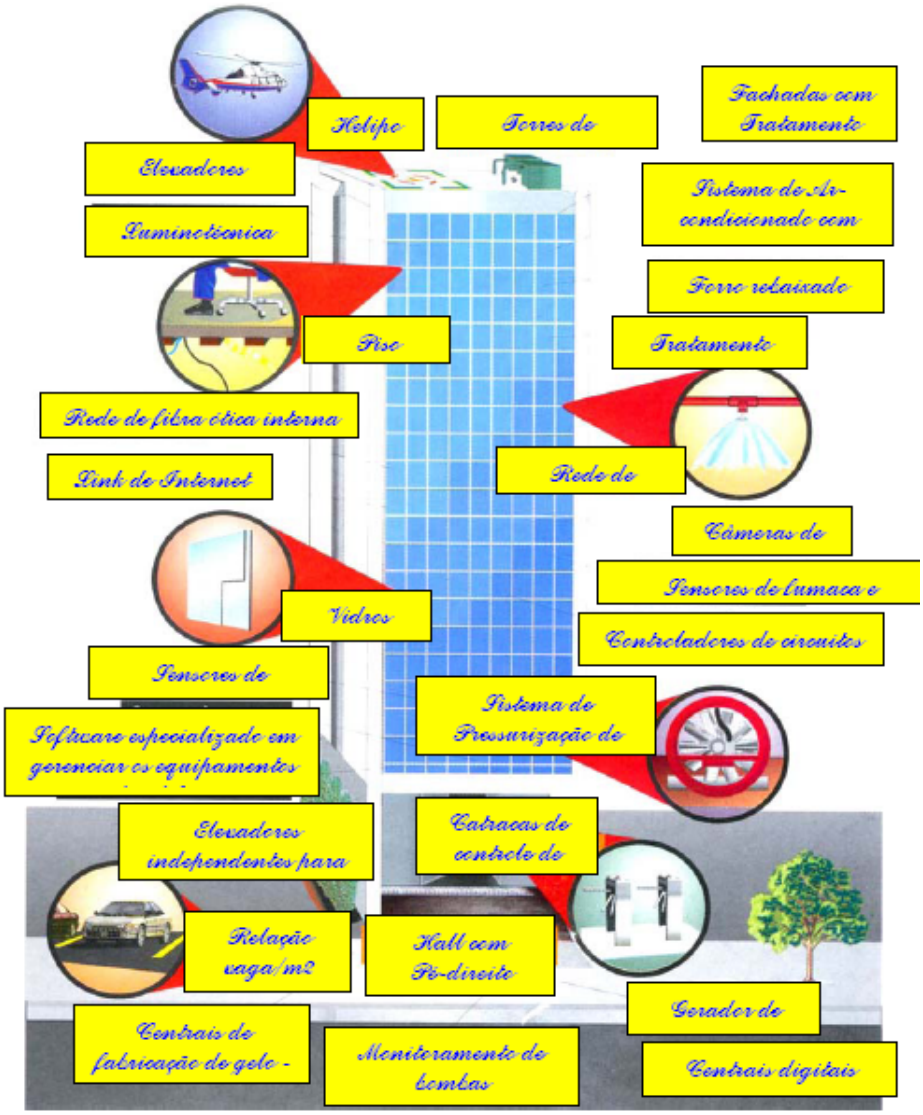


Figura 4.3.2.4 – Sistema de monitoramento predial

Fonte: Revista Thecne nº 55, ano 2001.

4.3.3 – Principais Elementos de um Sistema Predial

Os Empreendimentos Imobiliários vêm tendo um crescimento importante de forma a atender um número cada vez maior de usuários, o que acarreta o aumento do conjunto de equipamentos destinados a atender estes locais.

Os sistemas mais importantes que existem no projeto de edifícios hoje e que operam de forma totalmente autônoma podem ser classificados como:

1. Sistemas de Automação Predial;
2. Sistemas de Administração;
3. Sistemas de Hotelaria;
4. Sistemas de Estacionamento;
5. Sistemas de Voz, Dados e Imagem;
6. Auditórios e Centros de Conferências.
7. Outros, dependendo da especificidade do prédio, como, por exemplo, controle de Docagem de Aeronaves em Aeroportos, Controle de Brinquedos em Parques Temáticos etc.

Um Sistema Predial engloba vários subsistemas tais como: Automação de Utilidades, ou seja, E1étrica, Hidráulica e Ar Condicionado; e a Segurança Patrimonial incluindo Controle de Acesso, Detecção e Combate a Incêndio, Circuito Fechado de Televisão, Sensoriamento Perimetral, Sistemas de Voz, Sistemas de Comunicação por Rádio etc.

Além disto, existem os equipamentos operacionais do prédio, de vários portes tais como Sistema de Elevadores, Geradores, “no breaks”, redes de Instrumentação Elétrica Inteligente, e equipamentos diversos tais como cozinhas, lavanderias, etc.

4.3.4 – O *Retrofit* de Edifícios

O conceito de Automação não é somente direcionado a empreendimentos novos, podendo ser estendido a prédios já existentes, mesmo com idade avançada, que podem atualizar sua metodologia de gerenciamento dos sistemas prediais como um todo, mas o grau de dificuldade depende da infraestrutura encontrada nessa edificação, onde em edifícios comerciais modernos a utilização de piso elevado e forro falso facilita essa adequação.

4.3.4.1– Levantamento

No início das atividades, deverá ser realizado um estudo detalhado da operação do prédio, acompanhado de um levantamento completo do mesmo, avaliando todos os equipamentos e sistemas instalados e operacionais. São também levantadas suas necessidades administrativas, de forma a viabilizar a correta especificação de suas interfaces com o sistema de gestão técnica.

Por exemplo, caso venha a ocorrer à decisão de se utilizar a tarifação setorizada do consumo de energia e/ou ar condicionado e/ou gás, o projeto deve permitir que esta informação seja transferida pelo Sistema de Supervisão e Controle, pré-tratada e encaminhada para o sistema administrativo, que a armazena em banco de dados próprio e a incorpora, na data correta, no boleto de condomínio de cada unidade, e/ou centro de Gestão de cada área. Para que isto ocorra, é necessário o estabelecimento de um protocolo de comunicação entre os aplicativos computacionais correspondentes ao controle do processo e controle administrativo.

Com base nos levantamentos efetuados e nas funções definidas para serem automatizadas, premissas de segurança do prédio e nas necessidades de cabeamento estruturado para implantação do sistema de informações, define-se para cada item o nível de automação a ser executado, a segurança a ser implementada e as condições a serem obedecidas pelo sistema de informações.

Serão também definidas nesta fase as necessidades de troca de informações entre os vários subsistemas funcionais, verificando-se, por exemplo, como a detecção de fumaça em uma das dependências do empreendimento afetará o processo de insuflamento de ar, ou ainda como a avaliação da demanda de energia deverá bloquear ou liberar as cargas e com qual prioridade.

O gerenciamento técnico, aplicando para a sua parte não visível (operação e manutenção), o mesmo nível de modernização que é sistematicamente aplicada à sua aparência.

Através de um projeto bem realizado, estes prédios podem evoluir de maneira a atingir condições adequadas de supervisão e controle, otimizando recursos c consumo de forma similar aos empreendimentos novos.

Como já acontece nas plantas industriais, onde com uma certa freqüência estas plantas são renovadas e atualizadas, o *retrofit* exige um modelo e uma documentação completa do sistema, permitindo assim a abordagem integrada do que fazer, que funções atuais necessitam ser automatizadas, e quais necessitam de serem acrescentadas e qual o nível de dificuldade. Por exemplo, a climatização de um prédio antigo pode implicar em um sistema de ar condicionado com necessidades especificas de automação, que irão exigir soluções totalmente direcionadas.

O levantamento de projetos é um dos maiores problemas no *retrofit* de prédios mais antigos, que na maioria das vezes, não são organizados em relação a sua documentação, não possuindo especificações referentes ao projeto predial. Entretanto, as regras básicas de *retrofit* para implantação de automação, segurança e cabeamento são descritas a seguir.

4.3.4.2– Comunicação entre os Diferentes Subsistemas

Para que o resultado final dos trabalhos possa estar classificado como um Sistema Integrado de Automação, Segurança e Informação, torna-se necessário a definição das interfaces entre os vários subsistemas a serem implantados, definidos a partir das funções a serem atendidas. Estas interfaces terão sempre dois aspectos, fundamentais nesta fase do projeto: a

conexão física que corresponde à forma de comunicação a ser efetuada, e a 1ógica que determina o tipo de informação a ser trocada.

Do ponto de vista físico, o projeto procura sempre definir métodos padronizados, especificando sistemas que atendam a protocolos abertos, utilizando os padrões internacionais e nacionais mais adequados à realidade atual e, sobretudo, à linha de ação usualmente adotada no setor predial. Logicamente, são definidas as ações de causa e efeito entre as várias funções, determinando o comportamento do sistema em relação ao prédio, sua funcionalidade e, especialmente sua segurança e a de seus usuários.

4.3.4.3– Interface com Equipamentos Existentes

Para que os equipamentos definidos no prédio para serem supervisionados e controlados deverão ser realizados um estudo detalhado dos respectivos projetos, com as definições dos pontos de supervisão e controle de cada um, gerando assim, um projeto composto de um Memorial Descritivo detalhado, Diagramas de Blocos Funcionais, Listas completas de Pontos de Supervisão e Controle, Instrumentos associados e de Escopo do Fornecimento.

Por exemplo, a um ventilador se associarão os pontos de ligação do equipamento, supervisão de atracamento do contactor, supervisão do sensor de fluxo de ar, falta de fase no quadro e1étrico, supervisão de estado local remoto da chave que controla se o ventilador está ou não conectado ao sistema. É parte do *retrofit* a indicação da necessidade e a execução da alteração dos quadros e1étricos de comando dos equipamentos a serem controlados, para que estes possam ser conectados aos controladores prediais e integrados ao sistema. Ou seja, é necessário criar e implementar o diagrama de comando dos mesmos, ao nível dos quadros e1étricos.

Na existência de equipamentos e sistemas inteligentes ou controlados por computador, devem ser feitos os estudos necessários para serem incluídos no projeto a interface correta com os mesmos, por canal serial de comunicação ou rede de dados. Por exemplo, se houver um Gerador

com controle micro-processado, dotado de canal para supervisão e controle por sistema de automação predial, a interface correta é incluída no Caderno de Especificações a ser gerado. Com as funções totalmente definidas, bem como as interações entre as mesmas e as interfaces a serem implementadas, é efetuada a Concepção do Sistema Integrado de Automação, Segurança e Informação destinado ao empreendimento a ser *retrofitado*.

A partir disso, deverá ser elaborada a arquitetura do sistema, contemplando o Centro de Operações Prediais, níveis de rede de dados interligando o Centro a Controladoras de Rede, redes de dados secundárias conectando sub-controladores específicos As controladoras de rede, os subsistemas específicos (como por exemplo, detecção de fumaça, circuito fechado de televisão) e a conectividade dos mesmos, conexão com equipamentos e sistemas existentes por comunicação serial e por pontos de supervisão e controle.

4.3.4.4– Retorno do Investimento através do *retrofit*

O retorno de investimento através do *retrofit* em empreendimentos imobiliários tem proporcionado resultados bastante interessantes, com economias geradas pelo Sistema Predial pagando os custos em prazos aproximados de três anos e, em seguida, passando a contribuir de forma significativa para a diminuindo as despesas com o Prédio. Estima-se que em oito anos, a utilização da automação representa um retomo adicional no mesmo valor do investimento efetuado, o que permite a substituição do sistema ou, simplesmente, a sua modernização.

Atualmente estima-se que o prazo de duração de equipamentos aplicado tanto a indústrias como prédios gira na faixa 10 a 15 anos, enquanto o empreendimento em si pode ser pensado para 80 a 100 anos, pode-se concluir com absoluta segurança que:

a) A instalação de Sistemas de Automação Predial, além de trazer vantagens operacionais e de segurança ao Edifício, corresponde a um item importante do ponto de vista de economia de custos, com retorno garantido em relação ao investimento realizado.

b) O fato da tecnologia de controle e dos equipamentos envolvidos evoluir com rapidez e implicar, neste sentido, na substituição dos sistemas em operação deve ser encarada com absoluta naturalidade, uma vez que ao fim do prazo de sua durabilidade e possível obsolescência, o sistema já se pagou.

Os percentuais do sistema de automação a serem considerados em relação ao custo global do empreendimento giram em torno de 3,5% a 5%, com retorno garantido. Assim a evolução do setor de obras civis de todos os portes na direção da utilização de sistemas de automação, segurança e cabeamento estruturado podem ser considerados irreversíveis, uma vez que está inteiramente baseado nos três pilares que viabilizam a integração destes sistemas aos negócios: evolução tecnológica, otimização operacional e beneficio financeiro.

4.3.5 – Sistemas Automatizados

Para modelagem de um sistema torna-se necessário entender o conceito de sistema assim como os limites do mesmo. Um sistema é qualquer coleção de interação de elementos que funciona para alcançar um objetivo comum e que evoluiu com o tempo.

A definição acima indica que aquilo que pode ser definido como sistema num contexto, pode ser apenas um componente de um outro sistema, dando origem ao conceito de subsistema. Assim o universo parece estar formado de conjuntos de sistemas cada qual contido em um outro ainda maior.

Sistema é um conjunto complexo de coisas diversas que ordenadamente relacionadas entre si, contribuem para determinado objetivo ou propósito.

Sob um ponto de vista mais prático, define-se um sistema como um conjunto de elementos dinamicamente relacionados entre si, formando uma atividade para atingir um objetivo, operando sobre entradas (informação, energia ou matéria) e fornecendo saídas (informação, energia ou matéria) processadas. As principais componentes de um sistema são:

1. **Fronteiras:** limites do sistema, que podem ter existência física ou apenas uma delimitação imaginária para efeito de estudo.
2. **Subsistemas:** elementos que compõem o sistema.
3. **Entradas:** Representam os insumos ou variáveis independentes do sistema.
4. **Saídas:** Representam os produtos ou variáveis dependentes do sistema.
5. **Processamento:** Engloba as atividades desenvolvidas pelos subsistemas que interagem entre si para converter as entradas e saídas.
6. **Retroação (*feedback*):** É a influência que as saídas do sistema exercem sobre as suas entradas no sentido de ajustá-las ou regula-las ao funcionamento do sistema.

4.3.5.1 - Simulação e Modelagem de Sistemas Automatizados

Simulação de um sistema pode ser definida como a capacidade de projetar um modelo de um sistema real e conduzir experimentos com este modelo de forma a compreender o comportamento do sistema e avaliar estratégias para a operação do mesmo. , Define-se simulação, como a técnica de resolver problemas seguindo as variações ocorridas ao longo do tempo num modelo dinâmico do sistema. A Simulação de Sistemas normalmente é utilizada para:

a) Projeto de sistemas ainda não existentes;
b) Impossibilidade de realização experimental com o sistema real;
c) Experimentação com o sistema real é indesejável;
d) Para compressão ou expansão da escala de tempo;
e) Para avaliação do desempenho de sistemas;
f) Para treinamento e instrução.

Modelagem de um Sistema pode ser definido como a representação de um objeto, sistema ou idéia em uma forma diferente da entidade propriamente dita. Eles podem ser classificados como: Modelos físicos e Modelos matemáticos, enquanto, define Modelo de Sistema como um conjunto de informações sobre um sistema coletado com o propósito de entender este sistema.

No sentido literal da palavra, modelo é a representação de alguma coisa. Pode ser definido também como a representação simplificada de um sistema com o propósito de estudar o mesmo.

Um modelo é uma réplica ou uma abstração da característica essencial de um processo. Assim, problemas que desobedecem a soluções diretas por causa do tamanho, complexidade ou estrutura, são freqüentemente avaliados através de modelos de simulação. Modelo, então, vem a ser uma representação simplificada de alguma parte da realidade de sistemas, podendo ser eles de diferentes tipos.

Os modelos podem ser classificados como: físico (escala natural e reduzida) e matemático (numérico/algorítmico). As principais etapas necessárias para a obtenção de modelos consistem na realização de:

a) análise do sistema (identificar entidades, atributos, etc);
b) simplificação (desconsiderar entidades e atributos irrelevantes).

Como exemplos de aplicações de Simulação de Sistemas podem destacar atividades nas áreas de Administração, Economia, Engenharias, Biologia, Medicina, Informática e Entretenimento.

Como principais limitações de simulação podem destacar:

- Resultados são dependentes dos estímulos: modelos estocásticos e determinísticos;
- Desenvolvimento de bons modelos pode ser oneroso.
- Falta de precisão/qualidade da modelagem fornecem o valor das variáveis em todos os instantes de tempo.

4.3.5.2 – Modelagem de Sistemas Dinâmicos

Sistemas Dinâmicos podem ser entendidos dentro da Mecânica Newtoniana Clássica como “forças e energia produzindo um movimento”. Dentro desse conceito: forças aplicadas a massas geram acelerações que definem os movimentos dos corpos no espaço; tais fenômenos são regidos por equações diferenciais ou de diferenças, em que o tempo é a variável independente. Por analogia, estende-se o termo "dinâmico" a todos os fenômenos, térmicos, químicos, fisiológicos, ecológicos etc., que também sejam regidos por equações do mesmo tipo. São sistemas "intrinsecamente dinâmicos", como que "acionados pelo tempo" (“*time-driven*"). A tabela 4 apresenta uma classificação das diferentes classes de Sistemas Dinâmicos.

Tabela 4 – Classes de Sistemas Dinâmicos

ACIONADOS POR	DESCRIÇÃO MATEMÁTICA	TIPO DE SISTEMA
Tempo	**Equações diferenciais no tempo**	**Contínuos no tempo**
Tempo	**Equações de diferenças no tempo**	**Discretas no tempo**
Eventos	**Álgebra de Boole, Álgebra dióide, Autômatos finitos, Redes de Petri, Programas Computacionais**	**A Eventos Logísticos**

No campo da Automação, Sistemas Dinâmicos estão relacionados com um conceito mais amplo da evolução de um fenômeno com o tempo, tornando essencial, nas últimas décadas, devido aos inúmeros e importantíssimos sistemas artificiais que não se podem descrever através de equações diferenciais ou de diferenças. São os sistemas de chaveamento manual ou automático, as manufaturas, as filas de serviços, os computadores, etc. Sua estrutura impõe principalmente regras lógicas, de causa e efeito, e seus sinais são números naturais representantes de quantidade de recursos ou entidades.

São sistemas "dinâmicos *latu sensu*”, acionados por eventos (“*event-driven*”); poderiam ser também chamados de logísticos.

As maiorias dos sistemas físicas reais são não-lineares, mas muito deles admitem aproximações lineares, especialmente quando os sinais de interesse são pequenas flutuações em torno de dados níveis de operação. Os sistemas a eventos são essencialmente não lineares.

Quanto à classificação dos sistemas em determinísticos e estocásticos, estes últimos são caracterizados pela presença de alguma variável ou de algum parâmetro, cuja definição exige estatística, como por exemplo:

- sinal de entrada contínuo no tempo, de origem atmosférico;
- sinal de entrada discreto no tempo, em que os intervalos entre pulsos ou impulsos sucessivos são aleatórios, como a chegada de clientes a urna fila de serviço;
- alguma transmissão interna alterada em função de probabilidades, como a parada da produção por falha de máquina e o retorno após tempo de reparo.

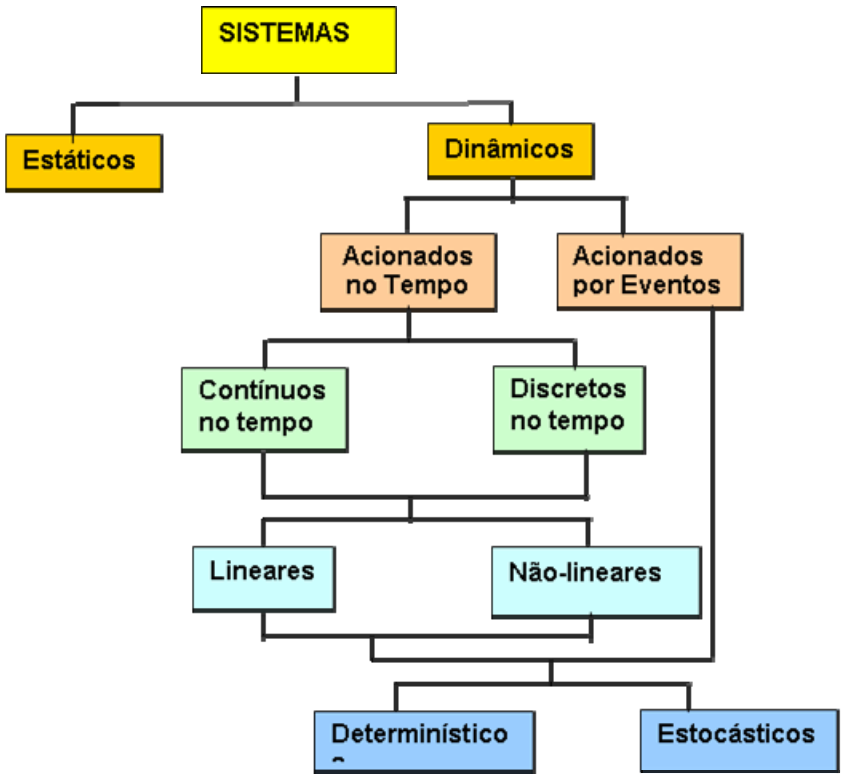


Figura 4.3.5.2..1 – Classificação Geral de Sistemas.

A figura 4.3.5.2.1 apresenta uma classificação de Sistemas. Os sistemas de maior interesse em Controle são os dinâmicos “acionados pelo tempo”, e em Automação, são os “acionados a eventos”, especialmente a eventos discretos

4.3.5.3 – Elementos de um Sistema Automatizado

A complexidade crescente dos sistemas automatizados implica numa grande dificuldade por parte do usuário, na definição de uma maneira clara, concisa e não ambígua das especificações funcionais associadas a esses sistemas. Esta complexidade tende aumentar ainda mais, com a utilização de um número elevado de informações de entradas e saídas. Desta forma é

necessário descrevermos o sistema através de uma ferramenta de descrição adequada. Atualmente é necessário que estas linguagens sejam:

- Do ponto de vista do homem, uma forma que expresse de modo natural à especificação do sistema;
- Do ponto de vista do dispositivo de controle, uma descrição simples que seja fácil de ser interpretada e executada.

Com o objetivo de padronização de uma linguagem na descrição dos sistemas automatizados a norma internacional [IEC 1131-3] estabelecida pelo "*International Electrotechnical Committe*", que estabelece uma nomenclatura internacional para sistemas automáticos, dividindo um Sistema Automatizado (SA) em duas partes distintas (figura 4.3.5.3.1), que são:

- **Parte Operativa (PO)** – corresponde ao processo físico a automatizar, que opera sobre a matéria prima e o produto. É constituída pelos atuadores que realizam as operações, agindo sobre componentes e dispositivos de automação, tais como válvulas, atuadores, motores, lâmpadas, etc;

- **Parte Comando (PC) –** caracterizado por receber as informações vindas do operador e/ou do processo a ser controlado e emitir informações ao sistema controlado, coordenando assim, as ações da Parte Operativa (PO).

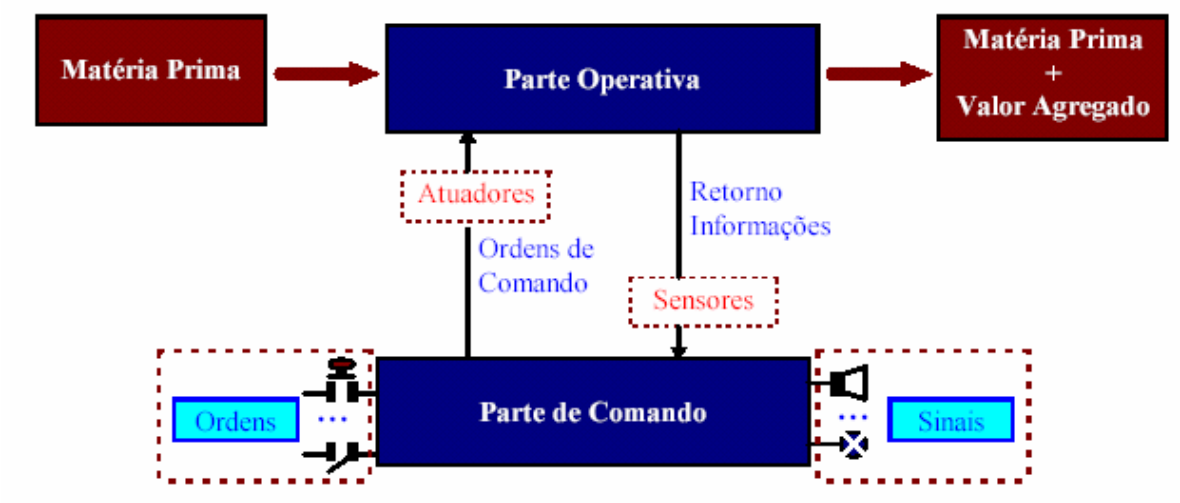


Figura 4.3.5.3.1 – Sistema Automatizado (SA) – Parte Operativa e Comando.

Para cada processo a ser controlado é necessário escolher, dentre as diferentes tecnologias de comando disponíveis, as mais adequadas e as que melhor se adaptam ao processo. Dentre as diferentes tecnologias existentes, podemos citar, comandos pneumáticos, hidráulicos, relés e Controladores Lógicos Programáveis (CLP).

Através das informações fornecidas pela Parte Operativa (PO), a Parte Comando (PC) é mantida informada sobre o estado das operações. A Parte Comando (PC) pode trocar informações com o exterior do sistema, de onde pode receber indicações, ordens (botões de comando, chaves, etc.) e fornecer sinalizações sonoras e/ou luminosas (buzinas, lâmpadas, etc.).

A primeira etapa do desenvolvimento de um SA consiste em descrevê-lo de modo à não ficar nenhuma dúvida sobre os objetivos a serem atingidos no projeto proposto, onde deve prevalecer o conjunto, sem a preocupação com detalhes tecnológicos, quando então deve-se descrever os elementos específicos do sistema de automação. É nesta etapa que surgem as maiores dificuldades, porque as informações devem chegar ao projetista, com todos os detalhes necessários.

A comunicação verbal não é a forma mais indicada, isso porque pode levar a mais de uma interpretação, e até mesmo a informações ambíguas. Para sistemas complexos, com ações

simultâneas e decisões com múltiplas possibilidades, deve-se evitar a utilização de textos. Sempre que possível e necessário às descrições de sistemas automatizados, deverão ser representadas de forma gráfica, que são mais fáceis de serem interpretadas e executadas, porém, encontrar uma forma que seja aceita e entendidas por todos, torna-se muito difícil.

Os Sistemas Automatizados podem ser classificados como:

i) **Automatismos Combinatórios:** O estado das saídas depende do estado das entradas, ou seja as saídas são determinadas unicamente em função do estado corrente das entradas, conseqüentemente o funcionamento do sistema não depende do tempo, conforme mostra a figura 4.3.5.3.2.

ii) **Automatismos Seqüenciais:** O estado das saídas depende do estado atual das entradas do sistema. O funcionamento depende do seu passado. Conseqüentemente, o estado das saídas no instante t é função do estado das entradas neste tempo t e dos estados das saídas no tempo (t-1), conforme mostra a figura 4.3.5.3.3.

4.3.6-Linguagens utilizadas para modelagem de sistemas automatizados

Uma linguagem para modelagem de sistemas é o meio pelo qual se expressam modelos, tendo como principal objetivo, a descrição de sistemas. Suas principais características são:

- Possuir uma base formal, visando obter uma interpretação exata e precisa;

- b) Clareza, visando facilitar a comunicação entre todos os envolvidos numa modelagem;
- c)Possibilitar a construção de modelos que obedeçam aos requisitos de conceitualização (contendo apenas propriedades desejadas do sistema modelado) e de totalidade (todas as propriedades desejadas do sistema modelado).

Figura 4.3.6.1 - Automatismos Combinatórios.

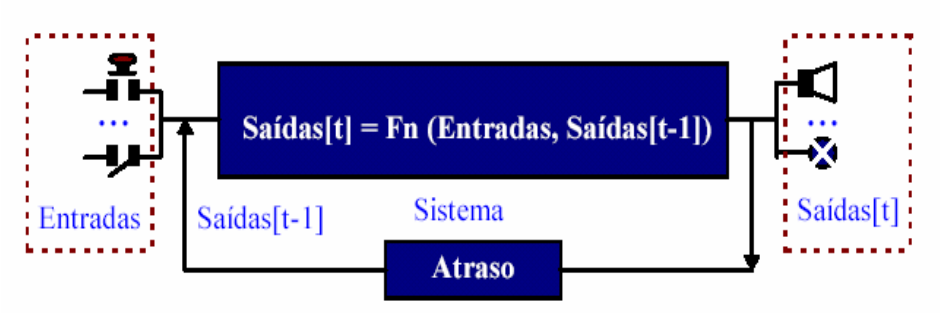


Figura 4.3.6.2 - Automatismos Seqüenciais.

É comum nos sistemas encontrar componentes que apresentem atividades concorrentes ou paralelas. Neste sentido, as Redes de Petri são uma linguagem de modelagem que foi desenvolvida especificamente para modelar sistemas discretos que possuem componentes que interagem concorrentemente, conforme Peterson (1981); Agerwala (1974).

Sistemas a Eventos Discretos (SED) são aqueles cujas variáveis de estado mudam só num conjunto discreto de pontos no tempo. Por exemplo: Um banco é um exemplo de sistema discreto desde que a variável de estado, o número de clientes no banco, muda só quando um cliente chega ou quando o serviço prestado a um cliente é completado.

A motivação para estudar métodos matemáticos para representação especificação, “design”, modelagem e simulação de sistemas discretos está associada à necessidade de se

estabelecer limites e prever o comportamento destes sistemas, notadamente os automatizados, comportamento este que está intimamente ligado ao seu ciclo de vida e à utilidade destes, quer seja como extensão da capacidade humana de operação e transformação de objetos (manufatura), quer seja como forma de substituir completamente o elemento humano em atividades perigosas, tais como a manutenção de centrais nucleares, as operações de inspeção, reparos, soldagem em grandes profundidades, ou mesmo a manipulação de carga em grandes alturas nas construções civis, ou ainda os sistemas de coleta de dados em ambientes como, por exemplo, em hospitais são alguns exemplos simples e intuitivos destes casos onde a substituição completa ou parcial do homem pelos sistemas automatizados lembra mais segurança e respeito à vida do que simplesmente desemprego.

Entretanto, nestas atividades, bem como nos sistemas antropocêntricos, onde o forte é a extensão da capacidade humana, melhorando a precisão de intervenção, repetibilidade, confiabilidade, etc., torna necessário que o processo de automatização represente um avanço ao invés de uma "modernização reflexa". Para isso, fatores tais como controlabilidade e previsibilidade deverão se considerados.

A controlabilidade associada à capacidade de relacionar causa e efeito, envolvendo planta e instrumentos de controle, estando também ligada à capacidade de prever a ocorrência de eventos não controláveis e antecipar a sua ocorrência como o bloqueio de outros eventos que exacerbam seus efeitos ou a capacidade de forçar outros eventos que anulem ou minimizem tais efeitos. Este é o caso dos sistemas de segurança, onde eventos são forçados ante a ocorrência de estados que são considerados indesejáveis, tais como os estados que antecipam as perdas de energia (elétrica) ou vazamentos, no caso de sistemas domóticos, implicam na interrupção do processo e suspensão das atividades.

Portanto, a controlabilidade está relacionada (no caso de sistemas discretos) com a relação existente entre estados identificáveis dos sistemas, relação estas que não podem ser classificadas por funções, nem de variáveis discretas nem de variáveis contínuas. Associado a isto está a possibilidade de prever, não somente a existência dos eventos não-controláveis, mas os pontos em que estes se manifestam de forma decisiva de modo a desencadear ações de prevenção de falhas maiores. O planejamento de quais as atividades ou estados considerados desejáveis e

qual a sua seqüência de ocorrência, isto é, qual os processos devem ser reforçados em cada instante.

Estes aspectos de controlabilidade e previsibilidade só poderão ser devidamente representados, modelados, simulados ou mesmo provados formalmente, se a relação de causa e efeito que lava a mudança de estados for matematicamente representada, segundo o paradigma já conhecido de que sistemas artificiais de engenharia controláveis podem ser completamente (com as devidas restrições ao significado atribuído à completeza) representados por um sistema de estados, eventos ou ações, representáveis pela mudança de um estado para outro.

A maneira mais direta de representar formalmente um sistema controlável é mapear o seu comportamento - ou pelo menos os processos principais - com autômatos finitos. Neste caso todo o sistema, incluindo as suas partes, é considerado uma representação única, chamada estado, e a evolução destes estados, isto é, uma transição de um estado para outro, é representada por um arco direcionado ligando estes estados.

Esta forma pictórica de representar a evolução dos estados é somente uma representação alternativa e talvez mais fácil de interpretar (talvez por ter uma comunicação quase subliminar sobre a evolução do sistema e sobre o conceito de processo). Entretanto, a formalização mais acabada do sistema e seu funcionamento esta associada à definição do que se conhece como um autômato.

Um autômato finito é definido como sendo um conjunto finito de estados, um dos quais é identificado como o estado inicial, e um outro (eventualmente nenhum) é considerado como o estado final, onde está associado o final do processo (ou de todos os processos representados). Também é parte do autômato um conjunto de eventos denotados por letras de um alfabeto . Neste caso um processo, inicialmente identificado como uma seqüência de eventos, pode ser associado a “strings” formadas por letras neste alfabeto.

Finalmente, um autômato, como a formalização da sucessão de estados e transições é composta de um conjunto finito de transições, um mapeamento que, para cada estado e para cada

evento associa um outro estado, resultado da transição ocasionada pelo evento (letra de entrada) em apreço.

4.3.7 – Norma Internacional IEC 61131-3

A Parte de Comando de um Sistema Automatizado deverá ser bem especificada e documentada, de modo a evitar ambigüidades e dúvidas durante a sua implementação e/ou manutenção. Para unificar e padronizar os símbolos gráficos e a seqüência do sistema, e também o que concerne os diferentes componentes de automação e CLP´s distribuídos por diferentes fabricantes, foi criado um comitê internacional da IEC responsável pela especificação das etapas de projeto dos CLP´s, incluindo desde o projeto de hardware, teste, documentação, programação, comunicação e até instalação, resultando a norma internacional [IEC 61131-3] (tabela 5).

Tabela 5 – Norma IEC 61131.

Parte	*Título*	*Descrição*
1	Informações Gerais	Definições de terminologias e conceitos básicos
2	Requisitos de Equipamentos e Testes	Construção eletrônica e mecânica e testes
3	Linguagens de Programação	Estrutura do software do CLP, linguagens de programação e execução do programa
4	Guia do Usuário	Guia sobre seleção, instalação e manutenção de CLP´s
5	Especificação do Serviço de Mensagens	Facilidades de software para comunicar com outros dispositivos utilizando comunicação baseada na MAP MMS (*Manufacturing Message Specifications*)
6	Comunicação via Fieldbus	Facilidades de software de comunicação de CLP utilizando IEC Fieldbus
7	Programação para Controle Fuzzy	Facilidades de software para manipulação de lógica fuzzy dentro de CLP´s
8	Guia para Implementação de Linguagens para CLP´s	Guia para aplicação e implementação das linguagens do IEC 61131-3

Assim, no desenvolvimento da norma internacional [IEC 61131] (tabela 5) procurou-se definir os pontos de intertravamento de sistemas seqüenciais, baseada nos seguintes objetivos: Visibilidade, Equipamentos, Linguagens de programação, Manuais ou guias do usuário e Sistemas de Comunicação.

Ao mesmo tempo foram definidas as cinco linguagens descritas a seguir, onde duas são textuais e outras três linguagens gráficas, utilizadas atualmente na maioria dos controladores lógicos programáveis disponíveis no mercado, customizados de acordo com cada fabricante, e apesar dessa diversidade de implementações, e por estarem baseadas nesta padronização, sempre permitem meios para especificar todos os procedimentos e intertravamentos de controle inerente ao sistema a ser automatizado.

- **IL: "Instruction List" - Lista de Instruções (figura 4.2.7.1):** Linguagem textual, de baixo nível, semelhante à linguagem Assembler, baseada em comandos "load", "store", "move", "add", que apresentam alta eficiência em pequena aplicações (como sensores/atuadores inteligentes) ou na otimização de partes de uma aplicação.

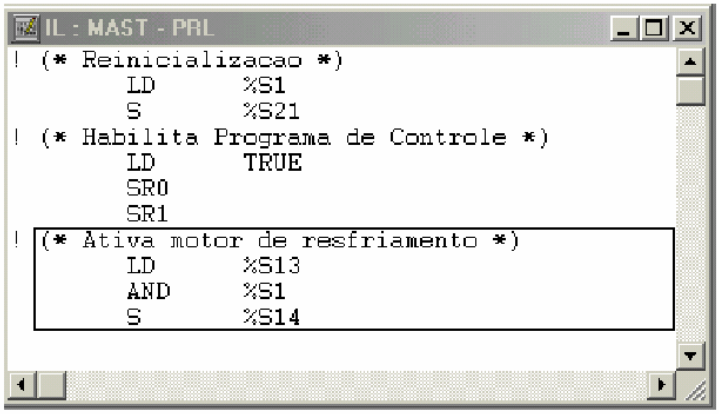


Figura 4.3. 7.1 – Programação utilizando Lista de Instruções (IL).

- **ST: "Structured Text": Texto Estruturado:** Linguagem textual de alto nível similar ao Pascal, porém incorporando uma série de conceitos intuitivos ao engenheiro de automação. Seu uso é bastante interessante na implementação de procedimentos complexos, que são difíceis de expressar com linguagens gráficas tais como linguagem de algoritmos de otimização de processo e inteligência artificial.

- **LD: "Diagram Ladder" - Diagrama Ladder (figura 4.3.7.2):** Trata-se de uma linguagem gráfica baseada em símbolos e esquemas elétricos, tais como relês, contatos e bobinas,

proporcionando um entendimento intuitivo das funções de intertravamento, sendo muito bem aceita pelos profissionais da área de automação e controle de processos.

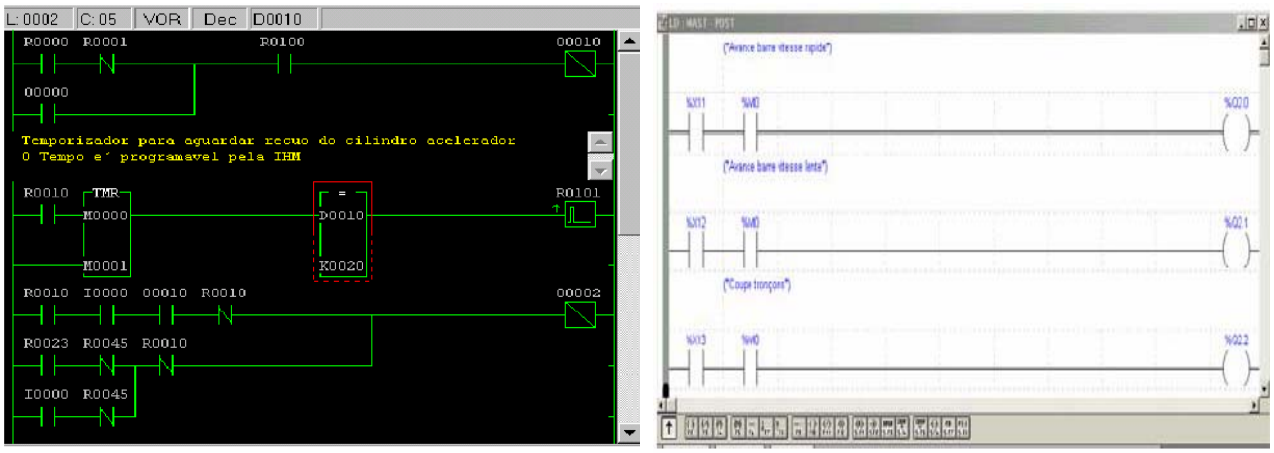


Figura 4.3.7.2 – Telas típicas de Diagramas Ladder (LD).

- **FDB: "Function Block Diagram" - Diagrama de Blocos de Função (figura 4.3.7.3):** Linguagem gráfica que permite ao usuário construir procedimentos combinacionais complexos utilizando-se de blocos padrões como, AND, OR, NOT, etc. Muito utilizado no desenvolvimento de dispositivos automatizados de baixo custo.

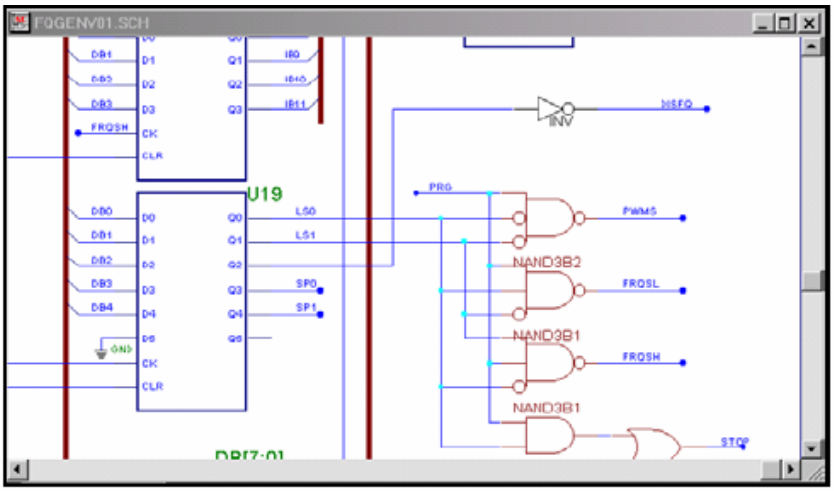


Figura 4.3.7.3 – Diagramas de Blocos de Funções (FDB).

- **SFC: “Sequential Function Chart” - Diagrama Funcional Seqüencial (figura 4.3.7.4):** Também conhecida pelo nome de GRAFCET, divide o processo em um número definido de passos separados por transições. É o núcleo do IEC 61131-3, pois as outras linguagens são utilizadas apenas para descrever as ações realizadas a cada passo, bem como as lógicas combinatórias envolvidas.

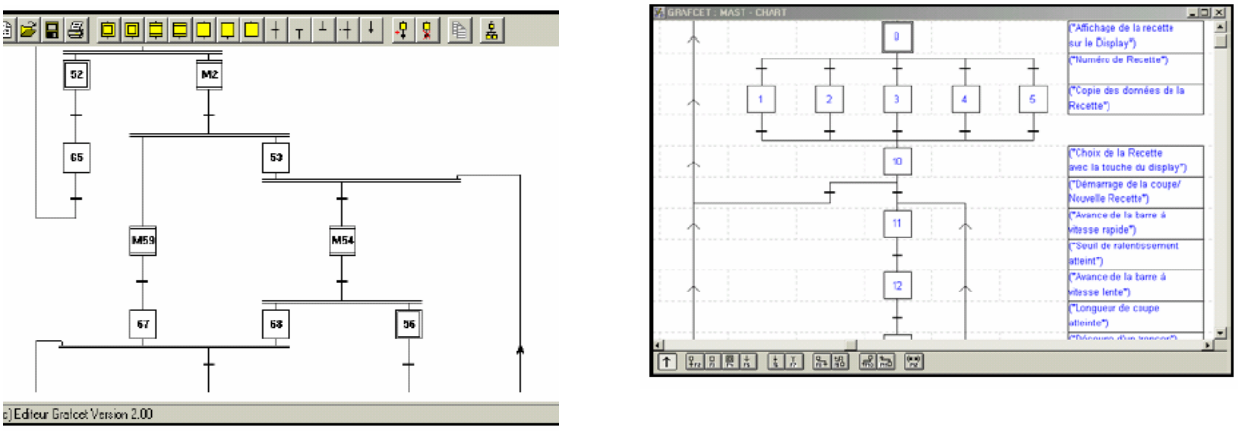
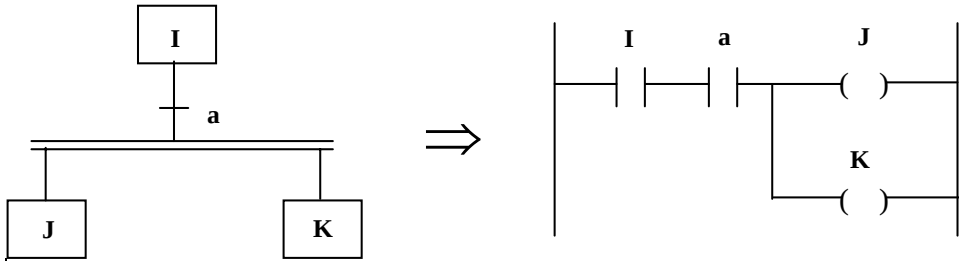


Figura 4.3.7.4 – Exemplos de telas de programação utilizando SFC.

4.3.8 - Programação Estruturada em CLP’s utilizando o GRAFCET

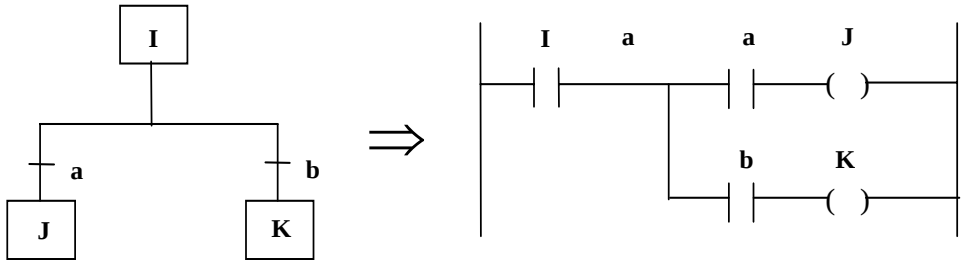
A programação de CLP’s para Sistemas Automatizados (SA) a partir da utilização do GRAFCET na estruturação do problema assegura ao software uma arquitetura hierárquica. A hierarquia entre os níveis de detalhamento garante que um sub-estado somente dependa dos seus sub-estados, não estando sujeita à forma com que os outros situados no mesmo nível foram implementados, tal procedimento aumenta a confiabilidade como um todo e facilita sua manutenção.

Concluída a parte de modelagem de SA’s através do GRAFCET, podemos implementar num CLP que não possua essa especificação a mesma lógica de funcionamento do GRAFCET. Para exemplificarmos o problema, na figura 4.3.8.1 é apresentada a implementação num CLP de um AND convergente e um OR divergente.



(a) AND Convergente

(b)



(b) OR Divergente

Figura 4.3.8.1 - Implementação de uma transição utilizando Ladder.

Para validação do problema, o diagrama funcional GRAFCET deverá atender as seguintes exigências:

- Aplicabilidade a todo sistema lógico de controle para descrição de um automatismo industrial, não importando sua complexidade ou tecnologia utilizada (elétrica, eletrônica através de software ou hardware dedicado, mecânica, pneumática, etc.);

- Possibilidade de uma descrição completa do sistema, onde as evoluções poderão ser expressas seqüencialmente, ou seja, a possibilidade de uma decomposição das etapas;

- Possibilidade de ser utilizada na descrição de processos combinatórios, fornecendo assim ao automatismo uma descrição seqüencial mais fácil de ser analisada e compreendida.

- O GRAFCET permite que um caderno de tarefas seja traduzido em sub-programas, desde que seja mantida a condição de não haver simultaneidade de chamadas a um mesmo sub-programa.

4.3.9 - Elementos do GRAFCET

O GRAFCET é um modelo de representação gráfica do comportamento de comando de um sistema automatizado. Ele é constituído por simbologias em arcos orientados que interligam as etapas e transições, interpretadas por variáveis de entrada e saída da Parte Comando, identificadas como receptividade de ações e por seqüências de evolução que caracterizam o comportamento dinâmico dos elementos comandados.

O GRAFCET se baseia em um conjunto de definições sobre as quais são estabelecidas suas regras fundamentais, baseadas em álgebra booleana (verdadeiro ou falso). Podemos dizer que ele é um método de descrição do caderno de tarefas de sistemas seqüenciais, formado basicamente por um conjunto de etapas, transições e ligações orientadas. A figura 4.3.9.1 representa os principais elementos do GRAFCET.

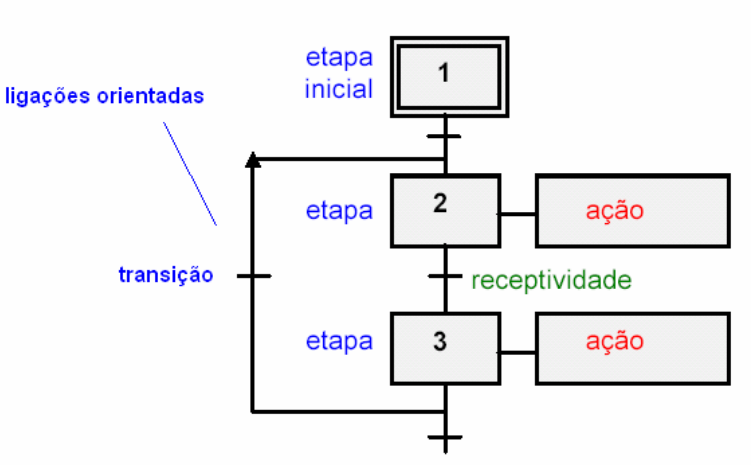


Figura 4.3.9.1 - Esquema ilustrativo de um GRAFCET.

Esta linguagem de descrição é baseada na descrição do caderno de tarefas do sistema a ser automatizado, este transmite as necessidades do usuário para o fornecedor. Porém, antes de fazermos a representação dos postos da plataforma através do GRAFCET, foi preciso fazer uma descrição funcional de cada um dos postos (caderno de tarefas). Nesta descrição todas as operações dos elementos que formam a plataforma foram especificadas detalhadamente, utilizando esta metodologia à passagem para qualquer tipo de representação de sistemas seqüenciais, se torna bem simplificada.

4.3.10 – Etapas do GRAFICET

Uma etapa corresponde a uma situação durante a qual o comportamento da totalidade ou parte do sistema em relação às suas entradas e saídas é invariável, ou seja, a Parte Comando permanece numa mesma etapa, enquanto o comportamento do sistema se mantém constante. A inicialização fixa as etapas ativas no início. Estas etapas são ativadas incondicional e referenciadas no GRAFCET duplicando os lados do símbolo correspondente à etapa.

A etapa é representada por um quadrado referenciado numericamente, aos quais estão associados uma ou mais ações (figura 4.3.10.1). As ações a serem realizadas quando uma etapa está ativa são descritas de modo literal ou simbólico no interior de um retângulo associado à etapa. Portanto torna-se necessário representar uma etapa ativa num instante determinado, isto é feito colocando-se uma marca na parte inferior do símbolo que representa a etapa.

Uma etapa pode ser ativa ou inativa em um determinado instante e portanto, o sistema será representado pelo conjunto de etapas ativas. As ações associadas a uma só serão efetuadas quando esta ativada.

A utilização de macro-etapas é possível, sendo representada num diagrama em separado. As macro-etapas são representadas num GRAFCET por um quadrado com traço vertical duplo.

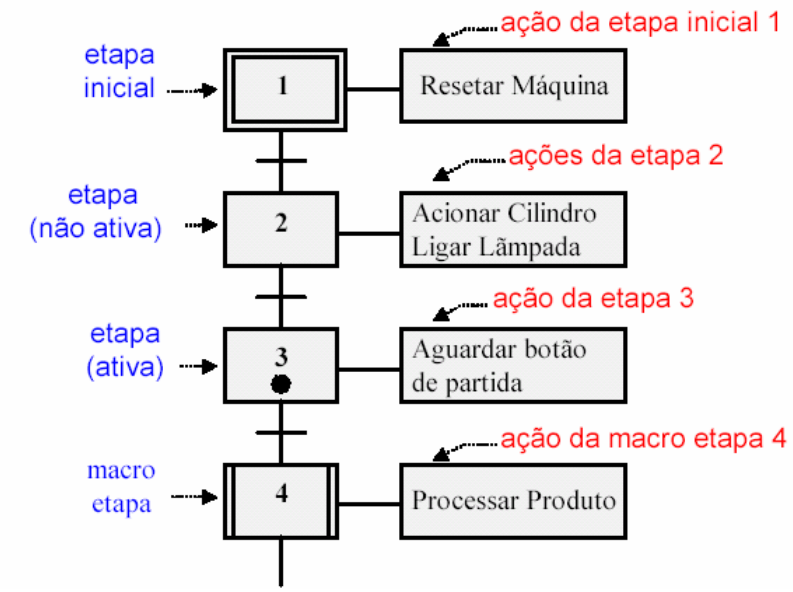


Figura 4.3.10.1 - Etapas e Ações de um GRAFCET.

A figura 4.3.10.2 apresenta uma situação, onde quando a etapa 4 estiver ativa, a ação 1 será executada se a variável XX for verdadeira, a ação 2 será executada se a condição M1 for falsa, e a ação 3 será executada incondicionalmente, assim que a etapa 4 tornar ativa.

A execução de uma determinada ação pode estar associada a uma condição lógica entre uma variável de entrada ou de outra etapa qualquer. Assim, uma etapa mesmo estando ativa, pode existir “ações condicionais” que não sejam executáveis, pois sua condição é momentaneamente falsa.

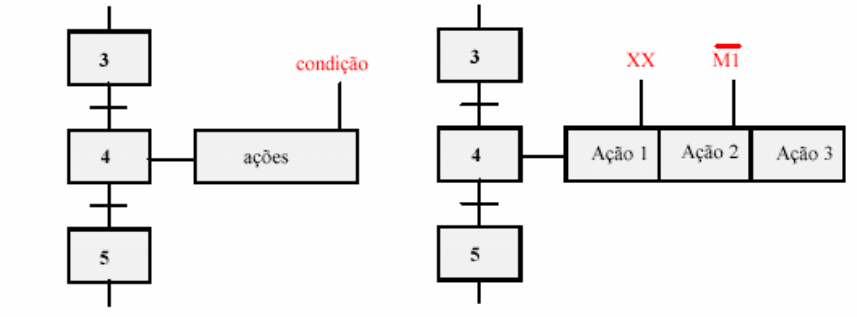


Figura 4.3.10.2 - Ação Condicional num GRAFCET.

4.3.10.1 – Tipos de ações associadas às Etapas

Normalmente ações devem ser associadas às etapas. As ações podem ser classificadas como:

a) Condicionais: A execução de uma ação pode ser submissa a uma condição lógica entre variável de entrada ou de outra etapa, isto é, mesmo o estado de uma etapa sendo ativo pode haver ações condicionais que não sejam executadas pois sua condição é momentaneamente falsa.

b) Impulsionais:. A ativação da ação ocorrerá durante um tempo determinado, quando a etapa torna-se ativa;

c) Contínuas: A ação permanece sendo executada enquanto a etapa estiver ativa.

4.3.11 – Transições e Receptividades

Transições são funções lógicas que coordenam a evolução entre as etapas, em um determinado instante uma transição pode ser válida ou não. A cada transição é associada uma receptividade, esta é a condição lógica que permite distinguir entre todas as informações disponíveis num dado instante, apenas aquelas que permitem a evolução da Parte Comando. Ela é

representada por um traço perpendicular aos arcos orientados e indica uma provável evolução do GRAFCET de uma situação para a posterior.

As receptividades associadas às transições são escritas numa forma lógica (figura 4.3.11.1), sendo uma função de conjunto de informações exteriores, de variáveis auxiliares do estado ativo ou inativo de outras etapas.

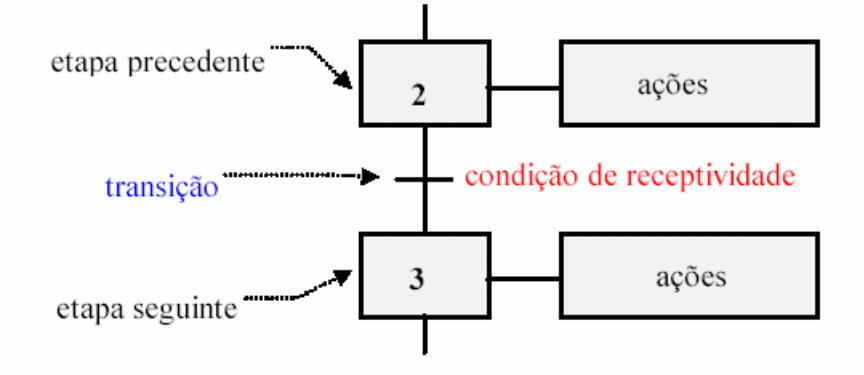


Figura 4.3.11.1: Transição e Receptividade de um GRAFCET.

Quando a transição é valida, possibilita a ativação das etapas destino e a desativação das etapas que a precedem. A receptividade pode ser influenciada pelo tempo, isto é, um temporizador será iniciado pela ativação da etapa especificada, desde que a receptividade associada a etapa anterior esteja válida (figura 4.3.11.2).

Para que o tempo possa intervir numa receptividade, basta indicar após a referência **t**, a sua origem e duração, a origem será o instante do começo da última ativação de uma etapa anterior, a simbologia é descrita desta forma t/ origem/ duração.

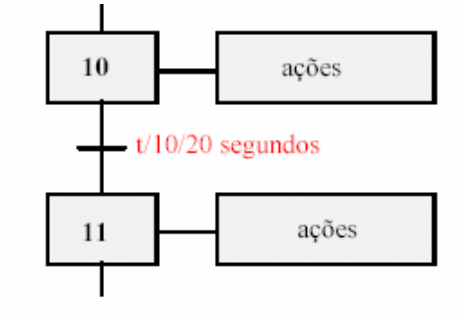


Figura 4.3.11.2: Exemplo de Temporização num GRAFCET.

4.3.11.1 – Principais Funções associadas às Receptividades

a) Funções Lógicas: As receptividades podem ser compostas por mais de uma variável, ligada através de uma das funções lógicas AND, OR ou NOT. As variáveis podem ser representadas por etapa, transição, entrada ou saída.

b) Temporizador: Uma receptividade pode se tornar verdadeira, após um determinado tempo de ativação de uma determinada etapa.

c) Mudança de Estado: Uma receptividade pode avaliar ou mudar o estado de uma variável. As variáveis podem ser uma determinada etapa, transição, entrada ou saída.

4.3.11.2 - Ligações Orientadas

As ligações orientadas indicam o caminho de evolução de estado do GRAFCET. São representadas por linhas que possuem sentido de orientação de cima para baixo (figura 4.3.11.2.1). Quando o sentido de evolução inverso será necessário a inclusão de uma seta.

As ligações entre as etapas são orientadas e irreversíveis. As ligações entre as etapas podem ser seqüenciais, com Divergências em OU, com Divergências em E, com Convergências em OU e com Convergências em E.

a) Ligação Seqüencial: Numa ligação seqüencial, a transição diz-se validada quando a etapa precedente está ativa. A figura 4.3.11.2.2, mostra que para a transição seja transposta é necessário que esta esteja validada e que simultaneamente a receptividade R1 que lhe está associada seja verdadeira. Neste caso, a etapa precedente é desativada e a etapa seguinte é ativada.

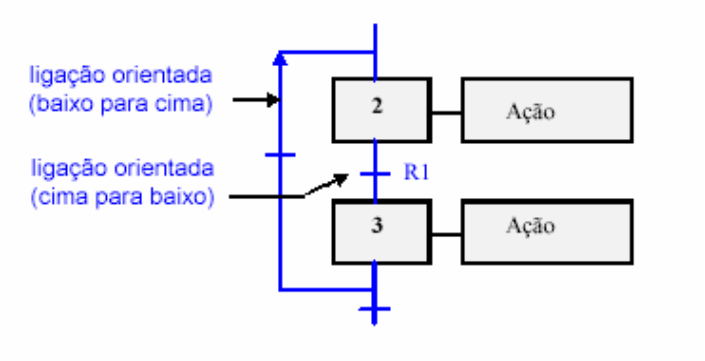


Figura 4.3.11.2.1 - Ligações Orientadas Seqüenciais**.**

b) AND Divergente: Uma distribuição possui seu arco de ligação de saída conectado a duas ou mais etapas que se tornam ativas ao mesmo instante, conforme mostra a figura 4.3.11.2.

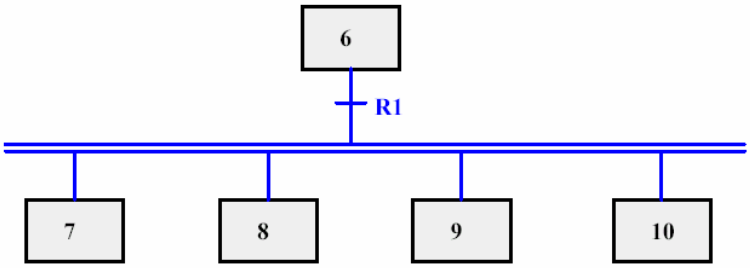


Figura 4.3.11.2.2 - Ligação Orientada AND Divergente.

c) AND Convergente: Uma transição possui seu arco de ligação de entrada conectado a duas ou mais etapas que deverão estar ativas em um mesmo instante, para que a receptividade seja avaliada, conforme mostra a figura 4.3.11.2.3.

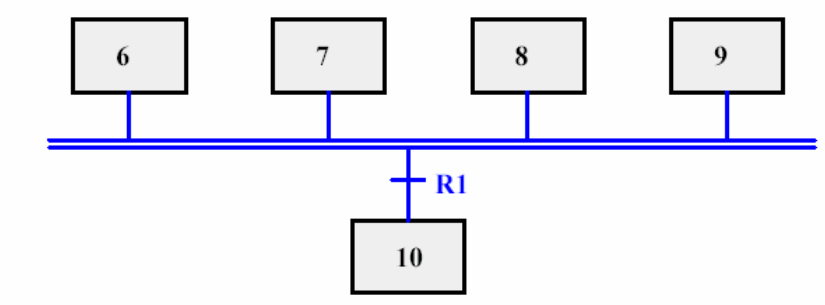


Figura 4.3.11.2.3 - Ligação orientada AND Convergente.

d) OR Divergente: Uma etapa pode estar conectada a duas ou mais transições que serão testadas em um mesmo instante podendo ou não ser ativadas, de acordo com a avaliação de suas receptividades, conforme mostra a figura 4.3.11.2.4.

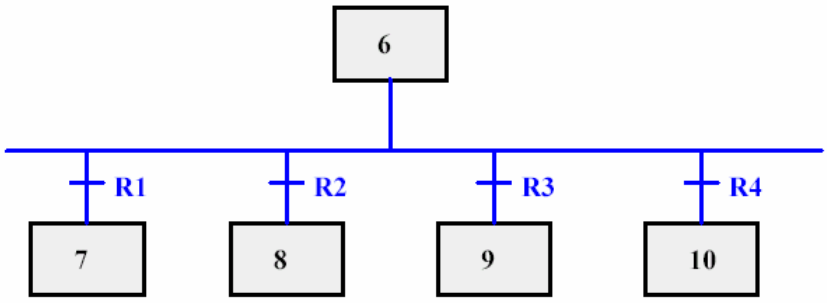


Figura 4.3.11.2.4 - Ligação Orientada OR Divergente**.**

e) OR Convergente Uma ou mais transições estão com seus arcos de ligação de saída conectados à mesma etapa, a qual se tornará ativa assim que primeira transição se tornar verdadeira, conforme mostra a figura 4.3.11.2.5.

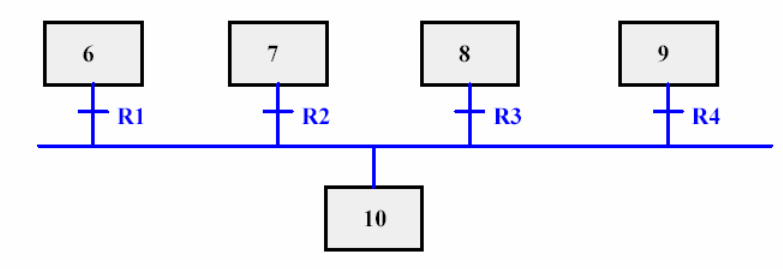


Figura 4.3.11.2.5 - Ligação Orientada OR Convergente.

4.3.12 – Salto de Etapas

As ligações seqüenciais podem representar salto de etapas com a retomada das etapas anteriores. O salto condicional permite saltar uma ou mais etapas. A figura 4.3.12.1 mostra que a receptividade R1 for verdadeira salta-se as etapas 5, 6 e 7, passando diretamente da etapa 4 para a etapa 8, deixando de executar as ações 11, 12 e 13.

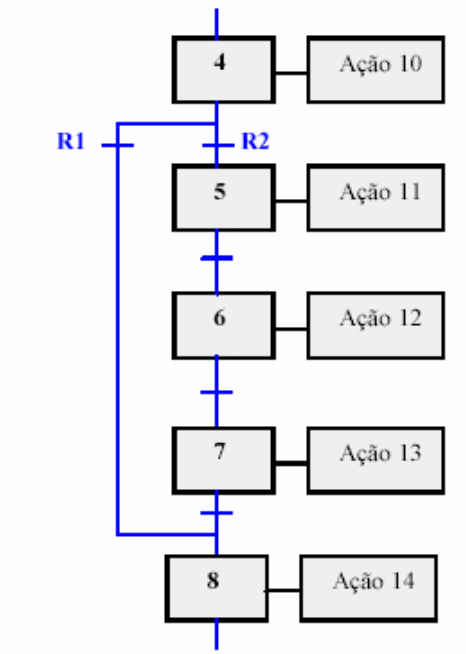


Figura 4.3.12.1 - Representação de um Salto de Etapas.

4.3.13 – Retomada de Etapas

O GRAFCET apresentado na figura 4.3.13.1, apresenta um exemplo de retomada de etapas, permitindo retornar uma ou mais etapas tantas vezes enquanto uma determinada receptividade for verdadeira. Por exemplo, enquanto a receptividade R3 for verdadeira retorna-se as etapas 41, 42 e 43 e conseqüentemente as ações 41, 42 e 43 associadas, até que a receptividade R3 seja falsa e a receptividade R4 seja verdadeira.

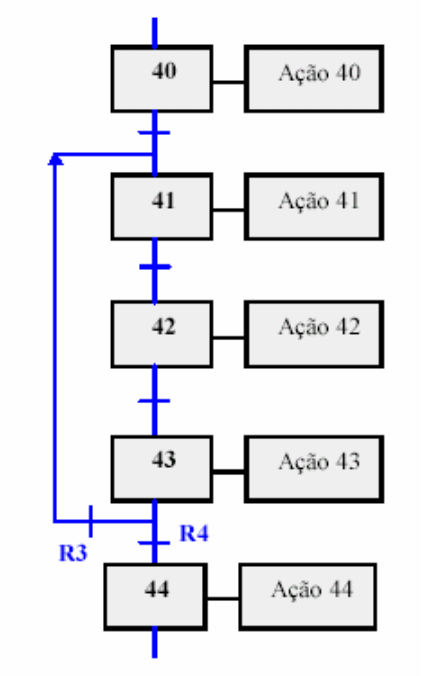


Figura 4.3.13.1 - Retomada de Etapas.

4.3.14 - Regras de Evolução

Com relação às regras do GRAFCET, pode se dizer que elas são representadas pela alternância entre etapas e transição e vice-versa. Cabe ser ressaltado que nenhuma ação é realizada ou nenhuma receptividade é avaliada em um espaço de tempo nulo, isto é estas operações não são instantâneas.

O comportamento do GRAFCET é baseado em cinco regras de evolução, as quais são:

- A inicialização fixa as etapas ativas no início do funcionamento;
- Uma transição pode ser validada ou não validada;
- A transposição de uma etapa provoca a ativação de todas as etapas imediatamente a seguir e a desativação de todas as etapas imediatamente precedentes;
- Várias transições simultaneamente transponíveis são simultaneamente transpostas;

- Se no decurso do funcionamento, uma mesma etapa deve ser desativada e ativada simultaneamente, ela permanece ativa.

• **Regra 1** : Situação Inicial

No início de funcionamento somente as etapas iniciais estão ativas. Existe pelo menos uma etapa inicial, sendo todas incondicionalmente ativadas no início do funcionamento. As etapas iniciais podem estar no "inicio" efetivo e/ou no "interior" do sequenciamento do GrafCet,

Figura - Representação de Etapas Iniciais

• **Regra 2** : Validação de uma Transição

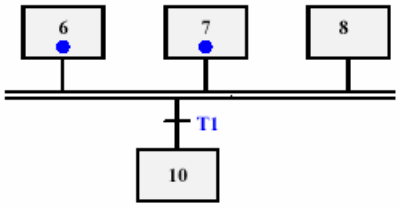


Figura - Transição Não Válida

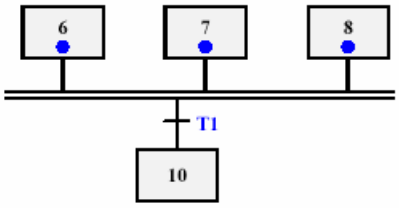


Figura - Transição Válida

•**Regra 3** : Evolução de Etapas Ativas

Assim que uma transição é validada, ocorre a transposição de uma transição. Neste momento todas as etapas que precedem a transição são imediatamente desativadas, e todas as etapas que se seguem são imediatamente ativadas.

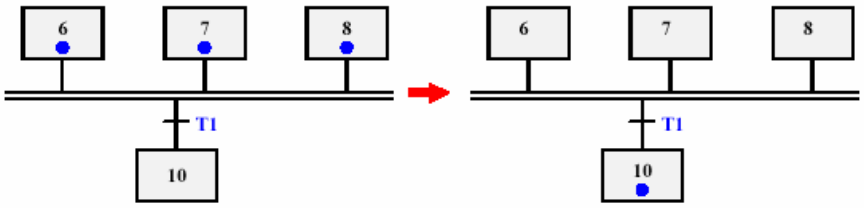


Figura - Antes da Evolução

Figura - Depois da Evolução

•**Regra 4** : Transposição Simultânea de Transições

Todas as transições simultaneamente transponíveis são simultaneamente transpostas.

• **Regra 5** : Ativação e desativação simultânea de um passo

Uma etapa mantém-se ativa se esta for simultaneamente ativada e desativada. Ou seja, se durante o funcionamento do sistema, uma mesma etapa deve ser desativada e ativada simultaneamente, ela permanece ativa.

Cabe ressaltar que nenhuma ação é realizada ou nenhuma receptividade é validada em um espaço de tempo nulo, isto é, estas operações não são instantâneas.

Uma vez estabelecidas às definições fundamentais assim como as regras de evolução de um GRAFCET, a figura 4.3.14.1 exemplifica algumas particularidades dos elementos do GRAFCET (ações, receptividades e ligações orientadas), que tornam melhor descrição de um sistema automatizado.

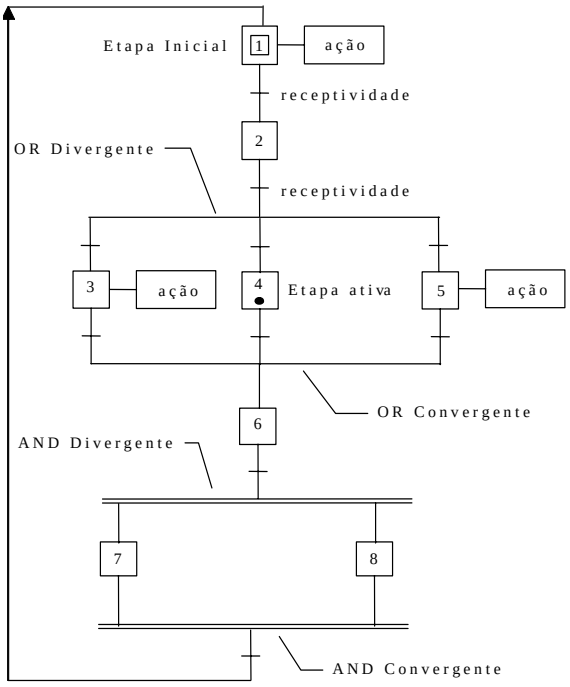


Figura 4.3.14.1: Regras de Evolução de um GRAFCET.

4.4 - Modelagem de Sistemas Automatizados utilizando Redes de Petri

O projeto da arquitetura de comando de Sistemas Automatizados (SA) com estrutura de controle e arquitetura de comando distribuída requer na sua concepção uma especificação de uma arquitetura de comando, que será determinante no ciclo de vida do sistema. Durante a fase inicial de projeto, o projetista deverá escolher uma arquitetura de comando que atenda os pré-requisitos funcionais, tais como os tempos de resposta do sistema.

Neste capítulo são apresentadas metodologias utilizadas para validação de um modelo de arquitetura de comando distribuído através da construção de modelos de Análise Estruturada e de sua posterior simulação através de Redes de Petri Coloridas e Temporizadas.

4.4.1 - Sistemas Automatizados

Os Sistemas Automatizados (SA) são cada vez mais complexas e diversas têm sido as formas utilizadas para caracterizá-los. Uma atitude possível, amplamente utilizada, é a de considerar o sistema dividido em vários componentes ou subsistemas (no sentido que podem ser caracterizados individualmente como um sistema), que interagem mutuamente através de um conjunto de interligações "bem caracterizadas". Correspondendo à atitude de "dividir para reinar".

Um modelo simples resultante desta atitude é o largamente utilizado modelo baseado na decomposição num sub-sistema de controle e num sub-sistema controlado (figura 4.3.1). Como caso particular, é de particular interesse caracterizar o sub-sistema controlado como uma componente de processamento de dados, sendo-se conduzido às arquiteturas micro-controladas típicas, com as suas componentes de dados e de controlo, interoperantes e com funcionamento concorrente, conforme Demongodin & Koussoulas (1998).

Figura 4.4.1: Caracterização de um sistemas nas suas partes “mestre” e “escravo”

Cada componente destes sistemas pode operar independentemente, isto é, de forma concorrente. Deste modo, a análise completa do sistema deverá considerar estas características de funcionamento concorrente dos vários subsistemas.

Esta natureza concorrente do funcionamento da maioria dos sistemas complexos cria diversos problemas ao longo do seu processo de desenvolvimento, nomeadamente nas tarefas associadas à sua modelação, validação e implementação. Por outro lado, dado que os subsistemas interagem condicionando mutuamente os seus comportamentos, torna-se necessária alguma forma de sincronização entre os modelos que os representam. Por exemplo, é comum que alguns sub-sistemas necessitem de aguardar por resultados de outros sub-sistemas antes de prosseguirem no seu funcionamento, de acordo com Antsaklis & Nerode (1998).

De um modo mais geral, a interação entre os vários subsistemas, traduz dependências lógicas que podem ser classificadas num dos seguintes casos:

- troca de informação: no caso de um sistema necessitar de um recurso produzido ou tornado disponível por outro;
- sincronização: no caso de se necessitar de estabelecer relações de ordem entre o funcionamento dos sistemas;
- exclusão mútua: no caso de um recurso partilhado por vários sistemas não poder ser utilizado simultaneamente por mais do que um deles.

4.4.2 – Ciclo de Vida de um Sistema Automatizado

O ciclo de vida de um Sistema Automatizado (SA) começa com uma *fase de especificação e projeto*, que consta do Diagrama de Atividades e Desenvolvimento de um Sistema Automatizado (figura 4.4.2.1). Esta fase consiste nas seguintes atividades:

- Análise das necessidades do sistema, resultando na definição de seu *Caderno de Tarefas*;
- Projeto preliminar do sistema, com a especificação de suas propriedades gerais;
- Especificação e projeto da *Parte de Comando*;
- Especificação e projeto da *Parte Operativa*;
- Validação das diferentes etapas do sistema, tendo em vista que cada atividade de projeto gera modelos que devem ser validados antes de passar à *fase de realização do sistema* e ao restante de seu ciclo de vida.

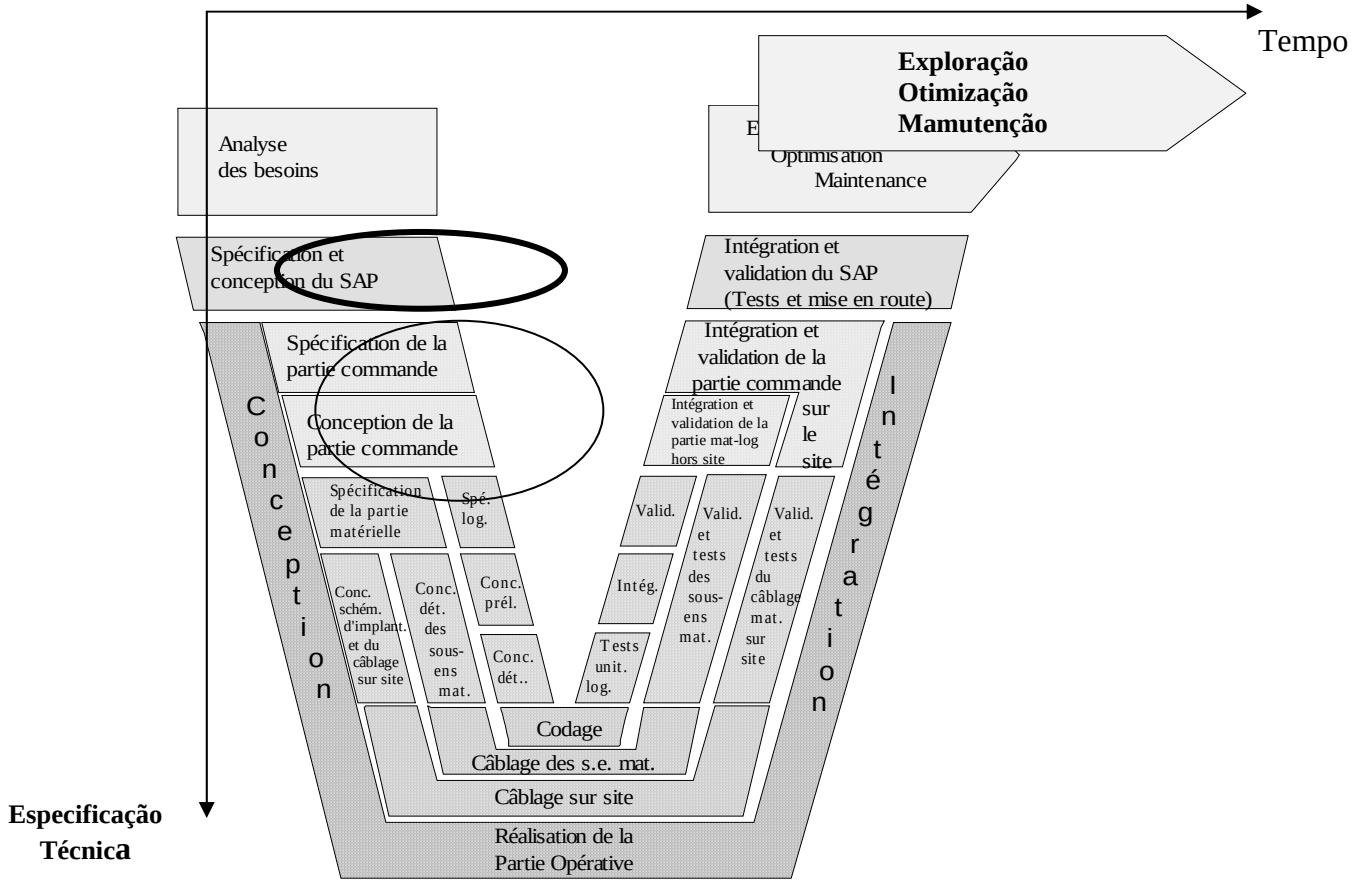


Figura 4.4.2.1 – Diagrama de Atividades de Desenvolvimento de um Sistema Automatizado.

4.4.3 - Sistemas a Eventos Discretos

A complexidade crescente dos sistemas automatizados industriais implica numa grande dificuldade por parte do usuário, na definição de uma maneira clara, concisa e não ambígua das especificações funcionais associadas a esses sistemas, esta complexidade tende a aumentar ainda mais, com a utilização de um número elevado de informações de entradas e saídas, de acordo com Ramadge & Wonham (1989). Sistemas a eventos discretos são sistemas em que os sinais:

- assumem valores num conjunto discreto, tais como on/off, verde, amarelo,vermelho, 1, 2, 3, ;
- as alterações de valor quando ocorrem são tão rápidas que se podem modelar como instantâneas, em qualquer instante t;
- alteram-se por duas possíveis razões: ocorrência de eventos instantâneos externos, isolados e independentes; ocorrência de eventos internos, definidos por rigorosas cadeias lógicas.

Uma questão de nomenclatura: eventos são por natureza discreta no tempo, mas justifica-se o nome de sistemas a eventos discretos para salientar a idéia de eventos de amplitudes pertencentes a um conjunto discreto. Em inglês, é corrente o uso do nome *Discrete Event Systems* – DES, e na língua portuguesa Sistemas a Eventos Discretos - SED.

Nos sistemas SED, há que considerar diferentes métodos de analise em razão de circunstâncias específicas. Os eventos externos podem ocorrer freqüentemente, em razão de outros processos aleatórios o que sugere como ferramenta ideal de análise, a Estatística; mas os eventos externos podem ser raros e, portanto, de inexpressiva descrição estatística (por exemplo, o aperto de um botão Emergência). De outro lado, o funcionamento interno desses sistemas usualmente obedece a regras lógicas rígidas e exige tempos de reação que, se fixos, sugerem o tratamento determinístico; se aleatórios, requerem uma análise Estatística, conforme Ho (1991).

Na realidade, tanto uma análise determinística quanto à estatística são desejáveis, desde que utilizadas no momento certo, devendo ao engenheiro de automação, garantir conseqüências bem definidas, seguras, em presença de eventos externos, sejam eles raros ou freqüentes; garantidas essas conseqüências, ele vai desejar analisar desempenhos econômicos e de confiabilidade, por meio da Estatística e de simulações, Antsaklis & Nerode (1998).

Atualmente são inúmeros os sistemas a eventos discretos conforme Cassandras (1990), sendo fundamental importância na ordenação da vida civilizada contemporânea; ocorrem em todas as indústrias, nos serviços prestados ao público, nos processos burocráticos, nos softwares de tempo real e dos bancos de dados, nas manufaturas. Em tais sistemas, em geral intervém

eventos externos importantes, enquanto internamente existe uma lógica rigorosa de causas e efeitos.

A figura 4.4.3.1 apresenta um exemplo de controle de trafego através de um semáforo num cruzamento de ruas em T. As chegadas cij e as saídas sij, de veículos são eventos, com quatro tipos de possibilidades de trajetos:

(1,2) = veículos vindo da direção 1 e virando para a direção 2;
(1,3) = veículos vindo da direção 1 e virando para a direção 3;
(2,3) = vindo da direção 2 e indo para a direção 3
(3,2) = vindo da direção 3 e indo para a direção 2

Podemos observar que existem duas situações para o semáforo S:

- mostrando o sinal vermelho R para (1,2) e (1,3), o sinal verde G para (2,3) e (3,2);
- mostrando o sinal verde G para (1,2) e (1,3), o sinal vermelho R para (2,3) e (3,2).

As transições R -> G e, G -> R também são eventos, internos. Uma automação do semáforo deveria levar em conta as filas formadas a partir dos eventos cij e sij, e definir os instantes dos eventos controlados R -> G e G -> R.

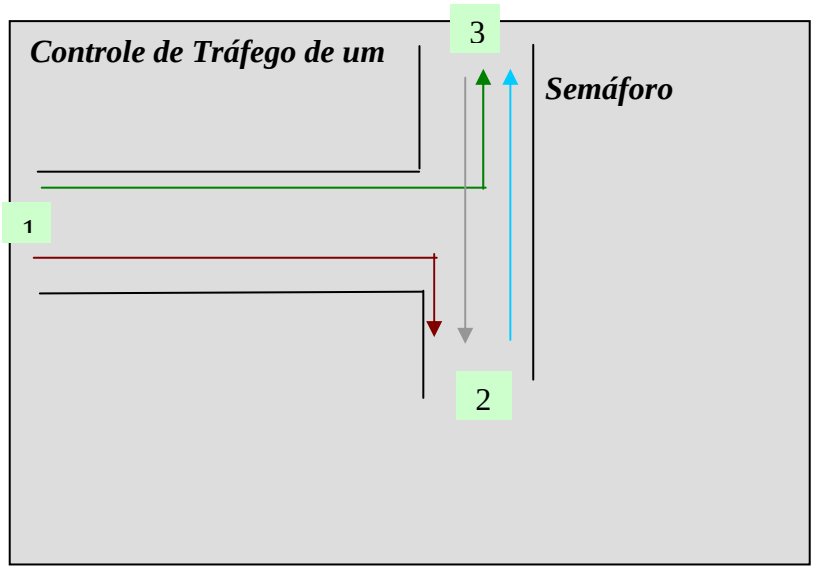


Figura 4.4.3.1: Exemplo de Sistema a Evento Discreto.

O projeto da arquitetura de comando do SA consiste em repartir as funções de comando do sistema entre os diversos equipamentos de controle-comando disponíveis. Tradicionalmente, esta atividade esta inserida dentro das atividades de especificação e projeto da parte de comando. Esta atividade deverá ser realizada, mesmo para sistemas de arquitetura de comando simples, muitas vezes reduzido a um só equipamento de controle.

No entanto, visando melhores níveis de flexibilidade e reatividade no meio industrial, os sistemas de controle-comando de um SA são freqüentemente organizados de forma distribuída: as partes operativas comandadas por diversos Controladores Lógicos Programáveis (CLP), estes, por sua vez, muitas vezes dirigidos por um sistema de supervisão; as trocas de dados entre as diversas estruturas físicas de comando sendo realizadas por meio de uma rede local. Portanto, torna-se extremamente “penoso” ao projetista escolher uma arquitetura de comando adequada a sistemas distribuídos, principalmente no que diz respeito ao tempo de resposta do sistema como um todo. Isso porque, de forma geral, os fabricantes de equipamentos conhecem perfeitamente os componentes de seus sistemas de controle individualmente, mas não dispõem de informações sobre a interação entre diferentes componentes ou parâmetros de influência.

Assim, para SA’s que apresentam estrutura de comando fortemente distribuída, a escolha de uma arquitetura de comando adequada torna-se fundamental para a realização de todas as atividades existentes no seu ciclo de vida. O projetista deve, então, considerar o projeto da arquitetura de comando suficientemente cedo durante a fase de projeto e especificação do sistema em questão: mais precisamente, durante o projeto preliminar do sistema.

4.5 -Redes de Petri

A metodologia de modelagem de Sistemas a Eventos Discretos (SED), utilizando Redes de Petri, (RdP) foram propostas em 1962, por Carl. Petri, matemático alemão, que através de uma tese de doutoramento foi criado esse método de estudo para sistemas dinâmicos a evento discreto, direcionado às Comunicações com Autômatos (1962), originando posteriormente, duas grandes linhas de desenvolvimento nas áreas de Ciências da Computação e em Engenharia de Sistemas, Huber, P., Jensen, K. & Shapiro, R.M.(1990) onde padronizaram as Redes de Petri.

As RdP's são um instrumento de modelação e análise de sistemas, permitindo a construção do seu modelo de funcionamento; a sua aplicabilidade imediata em diversas áreas transformaram-nas em tema alvo de desenvolvida investigação básica e aplicada, e sua utilização para Modelagem de Sistemas Automatizados apresentam algumas vantagens na sua utilização:

- Capturam as relações de precedência e os vínculos estruturais dos sistemas reais;
- São graficamente expressivas; permitindo a modelagem de conflitos e filas;
- Têm fundamento matemático e prático;
- Admitem várias especializações (RP's temporizadas, coloridas, estocásticas, de confiabilidade etc.).

Redes de Petri (RdP's) podem ser definidas por meio de conjuntos, funções e também por grafos, de maneira que suas propriedades possam ser obtidas pela teoria dos conjuntos e/ou pela teoria dos grafos.

As Redes de Petri são grafos orientados constituídas de quatro tipos de entidades: lugares, transições, arcos e marcas. Graficamente, os lugares são representados por círculos e as transições por traços ou retângulos. Os arcos são orientados e ligam os lugares às transições, e vice-versa, conforme Reizig (1982); Murata (1989); Peterson (1981). Este conjunto forma um gráfico bipartido: cada lugar só é ligado a transições e cada transição só é ligada a lugares. Estes lugares contêm um número inteiro (positivo ou nulo) de marcas. Cada transição é ligada a uma dada quantidade de lugares denominados "entradas" e "saídas" representando, respectivamente,

as pré-condições e as pós-condições deste subsistema. Cada arco é designado como "arco de entrada" ou "arco de saída", tem associado a ele um determinado número de marcas, denominado seu "peso".

A regra fundamental da teoria das Redes de Petri é a do disparo das transições. Uma transição é dita "habilitada" se cada um dos lugares a montante desta transição contém uma quantidade de marcas igual ou superior ao peso do arco de entrada correspondente.

O disparo de uma transição consiste em retirar de cada lugar a montante desta um número de marcas igual ao peso do arco de entrada correspondente, e em adicionar a cada lugar a jusante um número de marcas igual ao arco de saída correspondente.

As RdP, do ponto de vista matemático, possuem propriedades que se dividem em dois grupos propriedades dependentes da marcação (propriedades comportamentais) e as não dependentes da marcação (propriedades estruturais).

As propriedades já mencionadas ("*liveness*", limitação, alcançabilidade e reversibilidade), entre outras, pertencem ao primeiro grupo. Entre as propriedades estruturais, por sua vez, podem ser citadas as limitações estruturais, conservação, repetitividade e persistência.

Essas propriedades da RdP são extremamente úteis para analisar os sistemas modelados. Um importante aspecto a ser considerado durante análise é se existe correspondência biunívoca entre o modelo sob forma de RdP e os pré-requisitos funcionais da aplicação em questão. Este é um ponto crítico, principalmente quando modelos de extensão são construídos para sistemas complexos, conforme Zurawski & Zhou (1994).

A simulação pode ser realizada através dos métodos: eventos discretos, árvore de cobertura, análise de invariantes e redução de redes.

O método da "árvore de cobertura" consiste, basicamente, em enumerar todas as possíveis marcações passíveis de serem atingidas a partir da marcação inicial de uma RdP.

Começando da marcação inicial, procura-se construir um conjunto de cobertura através do disparo de todas as transições sucessivamente habilitadas.

A "análise de invariantes" parte do princípio de que os arcos descrevem relações entre os lugares e as transições, e podem ser representados por duas matrizes. Estudando as matrizes e as equações lineares baseadas na regra de execução das RdP, pode-se encontrar subconjuntos de lugares nos quais a soma de marcas permanece inalterada (conceito de invariante de lugar). De forma análoga, pode-se encontrar uma seqüência de disparos de transições que faz uma marcação voltar a um mesmo valor.

A abordagem de "redução de redes" consiste em simplificar a estrutura de uma rede complexa preservando suas propriedades e, através da rede reduzida, derivar as propriedades da rede original.

Finalmente, a simulação como método de análise, faz a RdP evoluir através da execução de seu algoritmo. Esta não é um método adaptado para provar a correção do modelo em casos gerais (ponto forte de métodos baseados da técnica de validação analítica, como a análise de invariantes), mas permite derivar o desempenho de um sistema sob premissas bastante realistas.

As extensões das Redes de Petri que possibilitam a construção e a avaliação de modelos de sistemas dinâmicos complexos são a coloração de marcas e a temporização associada às entidades da RdP.

Durante a modelagem de um sistema real, freqüentemente o tamanho da RdP se torna muito grande. Este fenômeno de crescimento, na maioria dos casos, nasce da repetição de sub-redes de estrutura idêntica que servem unicamente para indicar estados diferentes do sistema. As RdP coloridas são uma das abreviações do conceito original que possibilitam, sem mudar o poder do algoritmo deste conceito, nem suas propriedades, uma economia de escrita e de leitura extremamente necessária à representação de sistemas complexos.

As RdP coloridas seguem o princípio que a marcação de uma rede representa em geral o número de acontecimentos de eventos de um mesmo tipo. Associando a cada tipo de evento um

atributo distintivo (que por razões históricas foi chamado de cor), a marcação de um único lugar pode então modelar diversos acontecimentos de eventos de tipos diferentes, através de marcas de cores diferentes (na verdade, segundo a definição das RdP coloridas, um lugar deve ter a cor das marcas que pode conter definida a priori Jensen (1987); este lugar poderá conter, no entanto, todas as sub-cores que tenham sido definidas como "filhas" desta "cor mãe").

Para as RdP coloridas, uma transição é habilitada não somente se os lugares a montante possuem o número de marcas exigidas pelos arcos de entrada, como no conceito original, mas ainda se estes lugares contêm marcas de tipos, ou seja, portando as cores, exigidas pelos arcos de entrada.

O conceito de tempo não é abordado na definição original das RdP. No entanto, para a avaliação de desempenho de sistemas, torna-se necessário introduzir intervalos temporais às transições e/ou lugares dos modelos. As RdP temporizadas possibilitam avaliar quantitativamente o desempenho temporal dos sistemas estudados.

As RdP temporizadas são redes não-autônomas, ou seja, elas pertencem à classe de extensão das RdP cuja evolução dinâmica não depende unicamente do estado da rede em questão mas também do ambiente associado a ela. No caso específico das Rdp temporizadas, este ambiente é caracterizado por um relógio global que determina a disponibilidade das marcas depois do disparo das transições.

Estas RdP são chamadas de "temporizadas" (determinísticas) se os intervalos são especificados de forma determinística ou "estocásticas" se estes intervalos são especificados de forma probabilística.

Nas RdP temporizadas, as regras de disparo de transições foram modificadas para levar em consideração a duração das atividades, ações ou estados de um modelo. Assim, se uma marca chega a um lugar num instante **t** e a transição TI (cujo disparo gerou esta marca) especifica uma atividade de duração **z**, esta marca somente estará "pronta" para disparar a transição TII seguinte no instante **t+z**. Isto porque as marcas em RdP temporizadas apresentam dois estados: disponível ou indisponível. A passagem dos estado disponível ao estado indisponível acontece quando uma

transição dispara, ou seja, as marcas colocadas pela transição em um lugar de saída estão em estado indisponível. o estado indisponível corresponde à situação em que o disparo de uma transição representa uma atividade sendo executada. Considerando novamente as transições TI e TII, as marcas em um lugar passam do estado indisponível ao estado disponível exatamente como nas RdP autônomas.

Fundamentalmente, a evolução das RdP temporizadas depende do "relógio global". Os valores deste relógio representam o tempo no modelo. Além de portar cores, as marcas podem portar um valor de tempo, chamado também de selo de tempo. O selo de tempo de uma marca indica o mínimo valor de tempo do modelo em que a marca pode se utilizada, ou seja, retirada do lugar em que ela está para disparar uma transição.

Em uma RdP colorida e temporizada, uma transição é "habilitada" quando as marcas apresentam-se portando as cores e em número exigidos por cada arco de entrada. As marcas estão disponíveis, ou seja, os selos de tempo das marcas serem retiradas devem ter valor menor ou igual ao tempo do modelo.

A modelagem de uma atividade/operação de (delta r) unidades de tempo é feita por meio de uma transição T que gera para os lugares de saída, marcas cujos selos de tempo são (delta r) unidades de tempo superiores ao valor do relógio em que T é disparado. Como resultado do disparo, as marcas geradas por T serão indisponíveis durante (delta r) unidades de tempo.

A execução de RdP coloridas e temporizadas é similar às filas de eventos encontradas em várias linguagens de programação destinadas à simulação a eventos discretos. O modelo permanece num instante enquanto houver transições a disparar. Quando não há mais, o relógio é avançado até o próximo instante em que haverá transições disparáveis (logo, em que haverá marcas disponíveis).

4.5.1- Redes de Petri - Conceitos Básicos e Definições

Algumas tentativas de aplicação a novas áreas tiveram como conseqüência o aparecimento de extensões ao modelo inicialmente proposto. O elevado número de classes de RdP resultante de extensões e reduções, comporta-se como dialetos de uma mesma linguagem, permitindo, no entanto, um meio comum de comunicação entre comunidades ou sectores diversos.

As redes de Petri permitem modelar sistemas constituídos por componentes que apresentem características de funcionamento concorrente e interatuantes. A sua utilização poderá ser realizada de modos diversos, dependendo do objetivo em vista.

A primeira abordagem considera as RdP como uma ferramenta auxiliar de análise. Neste caso, outras técnicas e formalismos são usados para especificar o sistema; com base nessa especificação, o sistema é então modelado através de uma RdP que será posteriormente analisada. Se forem detectados problemas, proceder-se-á a alterações na especificação e o ciclo será repetido até que mais nenhum problema "grave" seja detectado (figura 4.5.1.1).

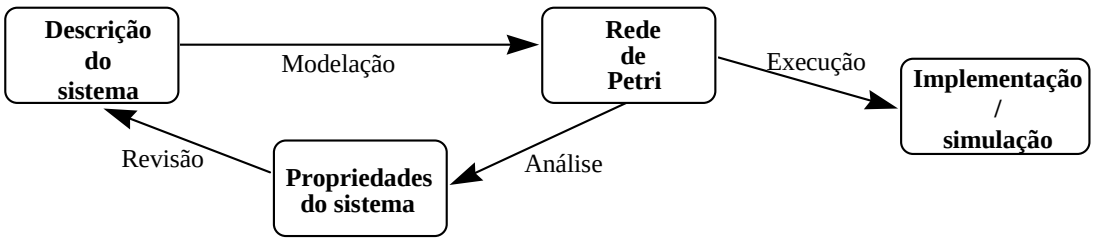


Figura 4.5.1.1 - Utilização de redes de Petri na modelação e análise de sistemas.

A primeira abordagem considera as RdP como uma ferramenta auxiliar de análise. Neste caso, outras técnicas e formalismos são usados para especificar o sistema; com base nessa especificação, o sistema é então modelado através de uma RdP que será posteriormente analisada. Se forem detectados problemas, proceder-se-á a alterações na especificação e o ciclo será repetido até que mais nenhum problema "grave" seja detectado (figura 4.5.1.1).

Como exemplo de problema grave refira-se uma situação de bloqueamento ("*deadlock*") na comunicação entre dois sistemas concorrentes. Outros problemas que podem aparecer serão identificados posteriormente.

Nesta abordagem tornam-se necessárias conversões consecutivas entre a RdP equivalente e a especificação do sistema (realizada num formalismo distinto). Para evitar esta situação, uma abordagem alternativa pode ser utilizada, utilizando as RdP em todas as fases do processo de desenvolvimento. As técnicas de análise são utilizadas como ferramenta para se obter uma rede de Petri isenta de erros que será diretamente transformada num sistema pronto a operar.

Na primeira abordagem, a ênfase é colocada em transformar uma especificação de sistema na sua representação através de uma rede de Petri. Na segunda, igual ênfase é colocada nas técnicas de tradução das RdP que permitirão obter uma implementação do sistema a partir da sua representação em RdP. Em qual delas, no entanto, a utilização de técnicas de análise das RdP desempenha um importante papel, dado permitirem determinar algumas propriedades do modelo utilizado.

4.5.2 - Representação das Redes de Petri

Uma possível representação das redes de Petri é através de um grafo possuindo dois tipos de nós, designados por lugares e transições. Os lugares são representados por círculos enquanto as transições por barras (ou retângulos). Lugares e transições são ligados através de arcos dirigidos, de modo que um arco inicia-se num tipo de nó e chega (sempre) a um nó do tipo complementar. A RdP é, assim, um grafo bipartido, ou seja, um grafo constituído por dois conjuntos de nós, em que nenhum dos nós constituintes de um conjunto se interliga a outro nó pertencente ao mesmo conjunto.

Nesta representação será possível associar eventos e condições do sistema que se pretende modelar às transições e lugares do grafo. Para além das propriedades e dependências

estáticas representadas pelas ligações (arcos) do grafo, uma RdP apresenta propriedades dinâmicas que resultam da sua execução.

A RdP apresentada na figura 4.5.2.1, apresenta a modelagem de um sistema simples, com significado em vários domínios conforme Peterson (1977) & Reisig (1982) e que será utilizado como exemplo introdutório aos conceitos envolvidos. Uma interpretação da RdP apresentada poderá ser associada a um sistema contendo um produtor e um consumidor, em que os lugares p1 e p2 modelam as atividades do produtor, os lugares p4 e p5 as do consumidor, enquanto p3 se encontra associado ao processo que armazenará temporariamente os "produtos produzidos".

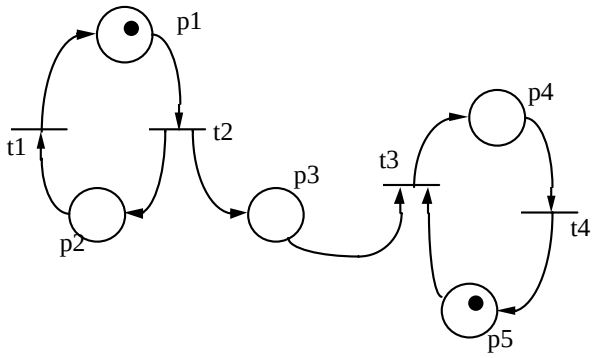


Figura 4.5.2.1 – Rede de Petri marcada I.

Nessa RdP, alguns dos lugares contêm uma marca (ponto negro), pelo que a rede de Petri se diz marcada. Pensando nos lugares da rede como estados do sistema (ou condições a verificar), a marca permite indicar se o estado (ou condição) se verifica ou não.

Como exemplo, a presença de uma marca em p1 modela a disponibilidade de “produtos produzidos” prontos para serem transferidos para o armazém, enquanto que a marca em p2 revela uma condição de “em produção”. A distribuição de marcas numa RdP marcada denomina-se marcação da RdP e define o seu estado. De forma análoga, às transições t1 e t2 poderão ser associados os eventos de “produzido” e “transferido para armazém”.

As marcas poderão mover-se pela rede, através do disparo de uma transição. Isto é, o estado da rede pode ser alterado pela ocorrência de eventos. Uma transição para poder ser disparada deverá estar habilitada (autorizada ou permitida), isto é, todos os seus lugares de entrada deverão conter uma marca. O disparo da transição provocará o desaparecimento de uma marca em todos os seus lugares de entrada e o aparecimento de uma marca em todos os seus lugares de saída.

Convém enfatizar que a regra de disparo enunciada, faz depender a habilitação de uma transição unicamente do conjunto de condições (marcação dos lugares) presentes nos seus arcos de entrada. Esta é a regra de disparo utilizada em grande parte das classes de RdP, em particular naquelas de maior interesse para a modelação de sistemas complexos de controle.

No entanto, RdP mais simples, por exemplo as RdP condição-evento (proposto no trabalho inicial de C. Petri) incluem na sua regra de disparo, a condição de todos os lugares ligados a arcos de saída não conterem marcas; nesta classe, os lugares podem conter zero ou uma marca. A capacidade dos lugares é de uma marca.

De referir, ainda, os casos em se associa uma capacidade (número inteiro positivo) a cada lugar da RdP e as regras de disparo das transições são, implicitamente, condicionados por essa capacidade; as RdP assim definidas denominam-se por RdP de capacidade finita, de acordo com David (1991). Normalmente a regra de disparo depende unicamente das condições associadas aos arcos de entrada.

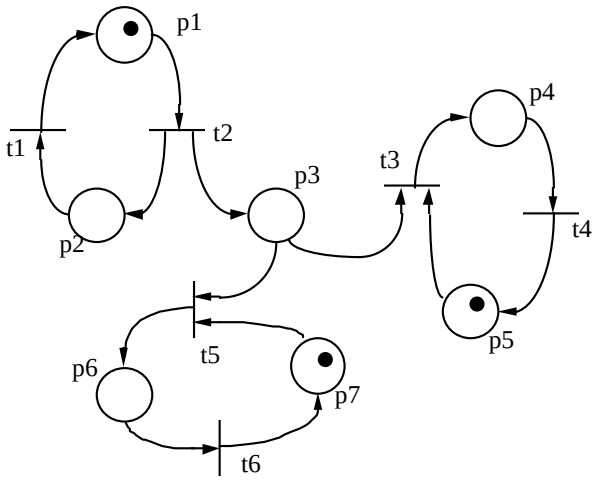


Figura 4.5.2.2 - Rede de Petri marcada II.

Na situação de marcação, ilustrada na figura 4.5.2.3, só a transição t2 poderá ser disparada, dada ser a única habilitada. O seu disparo originará a RdP marcada da figura 4.5.2.3. Nesta RdP resultante já existem várias transições habilitadas, concretamente t1, t3 e t5. O disparo de uma transição (única habilitada no estado inicial) conduziu-nos a uma rede com três transições habilitadas.

Se nesta nova situação, a transição t3 for disparada, o disparo da transição t5 deixará de estar permitido. Estamos em presença de uma situação de conflito entre as transições t3 e t5. No entanto, o disparo da transição t1 continua a ser possível. Ou seja, enquanto os disparos de t1 e t3 não se condicionam mutuamente, podendo ocorrer concorrentemente, os disparos de t3 e t5 são mutuamente exclusivos.

De um modo geral, o disparo de uma transição poderá conduzir a uma nova marcação que contem mais, menos ou igual número de transições habilitadas e de marcas. Em particular, nalguns casos poderá conduzir a uma marcação em que nenhuma transição esteja permitida, isto é, a uma situação de bloqueio (“*dead-lock*"). É impossível observar essa situação como evolução da RdP da figura 4.5.2.3.

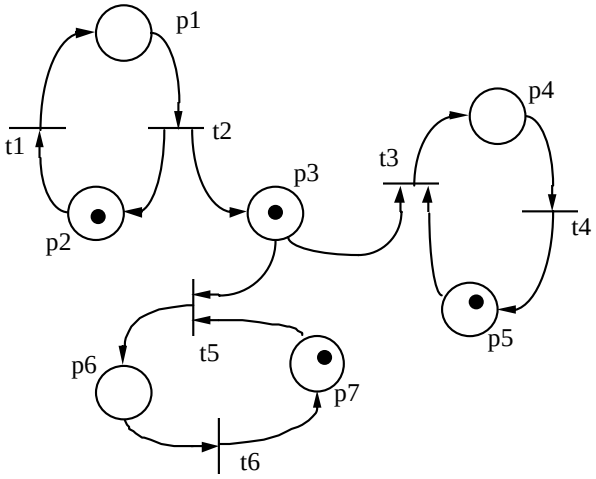


Figura 4.5.2.3: Marcação resultante do disparo de t2 na RdP da figura 4.3.4.3.2.

No caso de um sistema de produção automatizado, a RdP apresentada poderá descrever o funcionamento de um sistema com um produtor, dois consumidores e um armazém. Estes quatro componentes podem ser encarados individualmente como sub-sistemas que evoluem seqüencialmente e que interagem. Tomando como exemplo o sub-modelo do produtor, os lugares p1 ou p2 possuirão uma marca em regime de exclusão mútua, indicando, numa possível interpretação da RdP, se o produtor está a executar tarefa de produção ou de despacho de produto. Na realidade, esta descrição poderia ser facilmente realizada de forma isolada através de uma máquina de estados, contendo dois estados, em que a marca indicaria o estado atual. Situação semelhante ocorre com os dois consumidores.

A RdP apresentada na figura 4.6 poderia aparecer como uma representação compacta das várias máquinas de estado interligadas, se não fosse a presença do lugar p3, o armazém.

Na realidade, dado que a transição t2 poderá ser disparada independentemente de t3 ou t5 o terem sido, isto é, poderá ser produzido novo trabalho sem que o anterior tenha sido entregue a um dos consumidores, o lugar p3 poderá acumular várias marcas (um número indeterminado, na realidade) e este sub-sistema não poderá ser representado por uma máquina de estados finita.

Tal como foi modelado, o sistema não é realizável (fisicamente) dado não poder ser garantido um "armazém" de tamanho infinito para armazenar o trabalho produzido. A inclusão neste modelo de um "armazém" de dimensão finita, por exemplo quatro, seria possível através da

introdução de um novo lugar, p8, sendo conduzidos a RdP da figura 4.5.2.4. A este novo lugar, p8, interligado a RdP inicial por igual número de arcos que p3, porém de sentido simétrico, denomina-se complementar de p3.

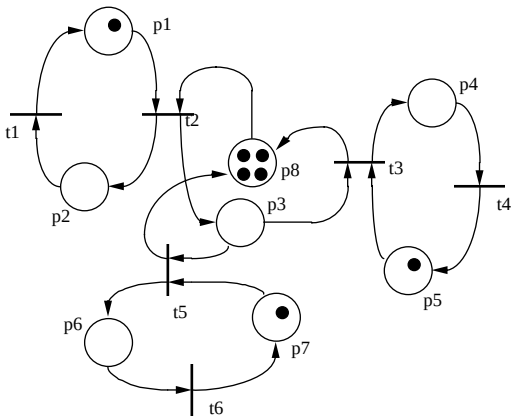


Figura 4.5.2.4 - RdP onde o número de marcas em qualquer lugar é limitado.

Considerando o modelo da figura 4.5.2.4 e de modo semelhante à situação da figura 4.5.2.5, a única transição que está habilitada para disparar é t2. Por cada disparo de t2 será retirada uma marca de p8 e "transferida" para p3, até ao limite de 4 (marcação inicial de p8). Observa-se que o número de marcas se conserva ao longo da evolução da rede, pelo que a rede se diz conservativa. Deste modo, o quarto sub-sistema, constituído por p3 e p8, também poderá ser descrito por uma máquina de estados finita (com 5 estados).

Da breve análise realizada poderemos reter que na RdP final alguns lugares (p1, p2, p4, p5, p6 e p7) poderiam conter 0 ou 1 marca enquanto que outros (p3 e p8) poderiam reter entre 0 e 4 marcas. Os lugares do primeiro grupo são denominados seguros, enquanto os do segundo limitados (ou k-limitado com k=4). Esta caracterização dá indicações sobre algumas restrições a impor à implementação do sistema. Em particular, se o objetivo for o de implementar a RdP através de um sistema digital, então um lugar seguro poderá ser "traduzido" diretamente para uma posição de memória binária, em que o "1" lógico será associado à presença da marca, enquanto que um lugar k-limitado poderá ser convertido num contador de módulo k+1.

Em resumo, o sistema representado numa RdP através de 8 lugares e 6 transições poderá ser visto como correspondendo a quatro máquinas de estados com 2, 2, 2 e 5 estados, respectivamente, que interagem. Uma tentativa de representação unificada do mesmo sistema através de uma única máquina de estado levaria a uma representação com 40 estados potenciais (2x2x2x5).

4.6 - Projeto da Arquitetura de Comando

A escolha de uma arquitetura de comando para um Sistema Automatizado consiste na determinação das componentes que serão utilizadas, e como as diversas tarefas e pré-requisitos funcionais de uma aplicação poderão ser repartidos no conjunto de equipamentos disponíveis. Considerando tanto o aspecto funcional como o aspecto material da parte de comando, a arquitetura de comando de um sistema distribuído é a modelagem segundo três pontos de vista diferentes: Funcional, Material e Operacional , conforme Denis & Meunier (1997)

4.6.1 - Arquitetura Funcional

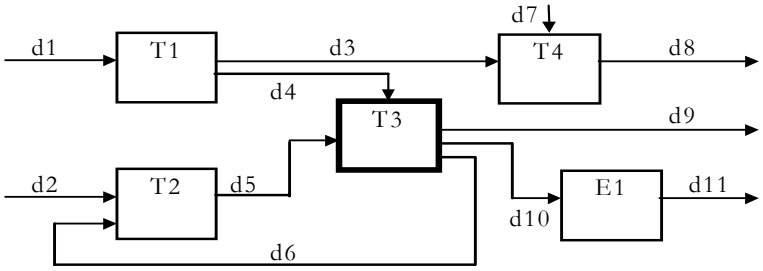
A arquitetura funcional representa o conjunto dos tratamentos de informações proveniente dos pré-requisitos funcionais de controle-comando. Seus modelos são geralmente construídos como se a estrutura física do sistema fosse constituído de um só equipamento, ou seja, não se leva em conta sua distribuição física. Ela deve assegurar as seguintes funções:

- representar todas as funções realizadas pelo programa (software) de comando assim como todos os dados que devem ser estocados, ou circular entre as funções de tratamento;
- precisar quando as funções de controle devem ser ativadas, ou seja, quais são os eventos necessários para a realização de uma função;

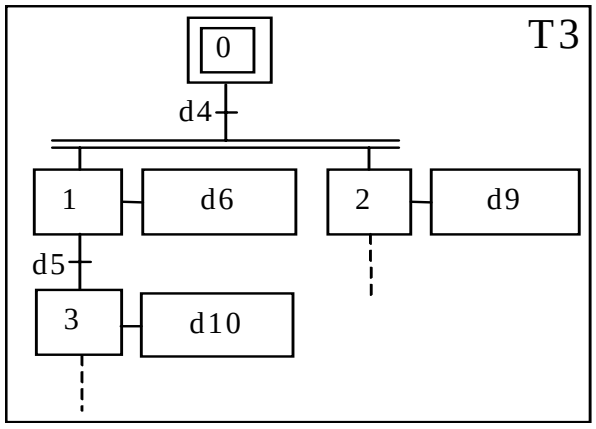
- precisar o tempo de vida dos diferentes dados, ou seja, se os dados são consumidos na transferência entre duas funções (função produtora e consumidora), ou se é preciso prever um ponto de estocagem para a perenidade da informação.

A arquitetura funcional é, portanto, expressa por um conjunto coerente de modelos *funcionais* (que descrevem funções ou tratamentos), *comportamentais* (que descrevem a evolução e ativação das funções) e de *informação* (que descrevem a relação entre os dados). Assim, diferentes métodos podem ser utilizados para descrever integralmente a arquitetura funcional.

Atualmente, opta-se pela abordagem conhecida como *Análise Estruturada*, conforme Gane & Sarson (1979) e Demarco (1979), sendo esses três tipos de modelos combinados no sentido da obra de Yourdon (1989).



(a)



(b)

Figura 4.6.1 – Modelo Esquemático da Arquitetura

A modelagem da arquitetura funcional de um SAP poderá ser realizada através de diagramas de fluxos de informações e estado e transição.

O diagrama de fluxo de informações (representação funcional) é realizado através do método SADT - *Structured Analysis and Design Technique* , enquanto que o diagrama "estado-transição" (representação comportamental) , através do Grafo de Comando Etapa-Transição, o GRAFCET (*SFC - Sequential Flow Chart*). A figura 4.6.1 mostra um exemplo de modelo de arquitetura funcional, utilizando o método SADT (*Structured Analysis and Design Technique).*

4.6.2 - Arquitetura Material

A arquitetura material é mais precisamente uma representação dos meios físicos disponíveis para responder a um problema específico. Estes meios são equipamentos de controle-comando e de informática industrial. A figura 4.6.2.1 apresenta um exemplo ilustrativo da arquitetura material de um SAP.

Apesar da diversidade dos equipamentos utilizáveis em um SAP, os diferentes componentes da arquitetura material podem ser agrupados em categorias genéricas:

- processadores (CLPs, computadores industriais, postos de supervisão, computadores, etc.);
- interfaces homem-máquina (consoles de comando, terminais de diálogo, sistemas de supervisão, etc.)
- meios de comunicação (ligações ponto-a-ponto, redes, etc.)

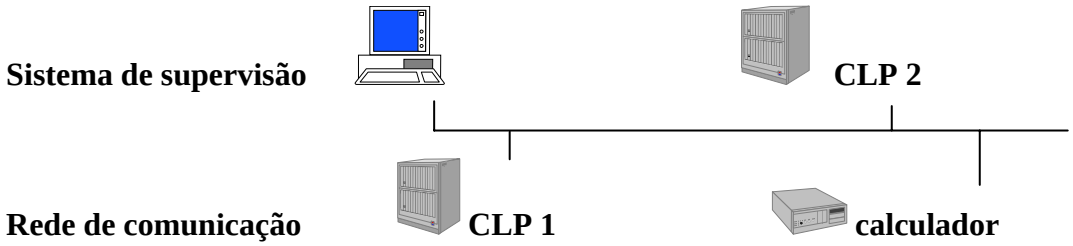


Figura 4.6.2.1 - Exemplo de arquitetura material.

4.6.3 - Arquitetura Operacional

A arquitetura operacional representa a repartição dos tratamentos e dos dados do sistema de comando nos equipamentos disponíveis através da associação das entidades da arquitetura funcional com os componentes da arquitetura material. A Figura 4.6.3.1 mostra um exemplo de arquitetura operacional derivado dos exemplos precedentes.

Para cada um dos tratamentos (Ti), determina-se qual processador deve assegurar sua execução. Cada função de estoque de dados (Ei) pode ser especificada ou para um equipamento de tratamento (para sua área de memória), ou para um equipamento específico de armazenamento de dados. Os fluxos de informações circulam entre os diferentes tratamentos e estoques através de um meio de comunicação.

No projeto da arquitetura de comando de um SAP, diversas *arquiteturas operacionais* podem ser implementadas. Cada uma delas apresenta comportamentos distintos, principalmente no que se refere a tempos de resposta do sistema. Assim sendo, o projetista precisa ***validar*** o comportamento dinâmico dos modelos de arquitetura operacional para em seguida poder avaliá-los quanto a seu desempenho temporal e, finalmente, definir a arquitetura de comando para o SAP em questão.

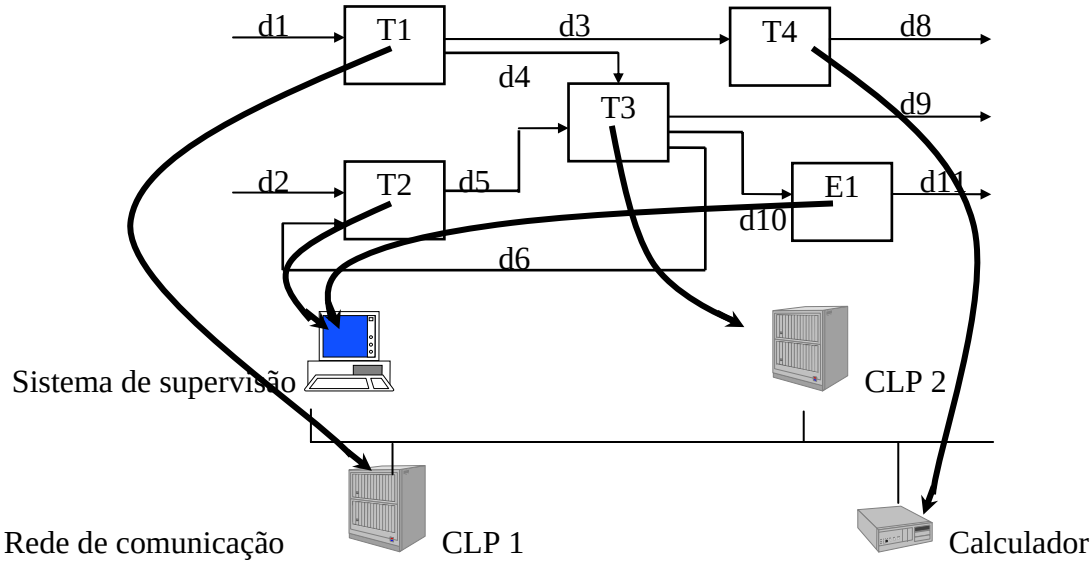


Figura 4.6.3.1. - Exemplo de arquitetura operacional.

4.7 - Validação do Comportamento Temporal através de RdP

Para validar o comportamento temporal das diferentes arquiteturas operacionais deve-se construir um modelo dinâmico através do acoplamento de modelos dos diversos tratamentos e dos diversos componentes, conforme Denis & Meunier (1997).

Estes modelos devem ser genéricos para poderem ser livremente acoplados entre si, segundo as diferentes arquiteturas propostas.

As *Redes de Petri* (RdP) *Coloridas e Temporizadas* são particularmente adequadas à construção de tal modelo dinâmico. A *coloração* permite criar modelos genéricos, pois uma sub-rede pode ter uma única estrutura (*lugares*, *transições* e *arcos*) independentemente de seu posicionamento na arquitetura: apenas as diferentes cores das marcas (representando, por exemplo, diferentes tipos de dados) indicam seu papel em relação às outras sub-redes. Já a *temporização* é indispensável para descrever o comportamento temporal do modelo dinâmico. A

figura 4.7.1 apresenta as sub-redes modelizando as funções provenientes da arquitetura funcional, as quais são acopladas às sub-redes dos equipamentos.

Para simular e avaliar os modelos de arquitetura operacional, optou-se pelo programa computacional Design/CPN, software mantido pelo grupo CPN da Universidade de Aarhus, Dinamarca. Design/CPN é um editor e simulador de RdP Coloridas e Temporizadas. Além disso, o programa permite a construção de modelos hierárquicos através dos seguintes mecanismos, de acordo com Maciel (1996) *at al*:

- *transições* podem conter em seu interior sub-redes, o que permite uma modelagem estruturada tipo *top-down* ou *bottom-up*;
- *lugares* de sub-redes diferentes podem ser fundidos entre si como se fossem um só, mesmo estando em regiões diferentes do modelo, o que permite que sub-redes distintas sejam ligadas entre si formando uma rede única.

No aplicativo Design/CPN as *marcas* carregam consigo um selo de tempo, indicando o instante em que chegaram a seu último *lugar*. Por meio destes selos, durante a simulação os tempos dos fluxos de dados podem ser coletados ou mesmo *plotados* para a avaliação de uma arquitetura de comando adequada.

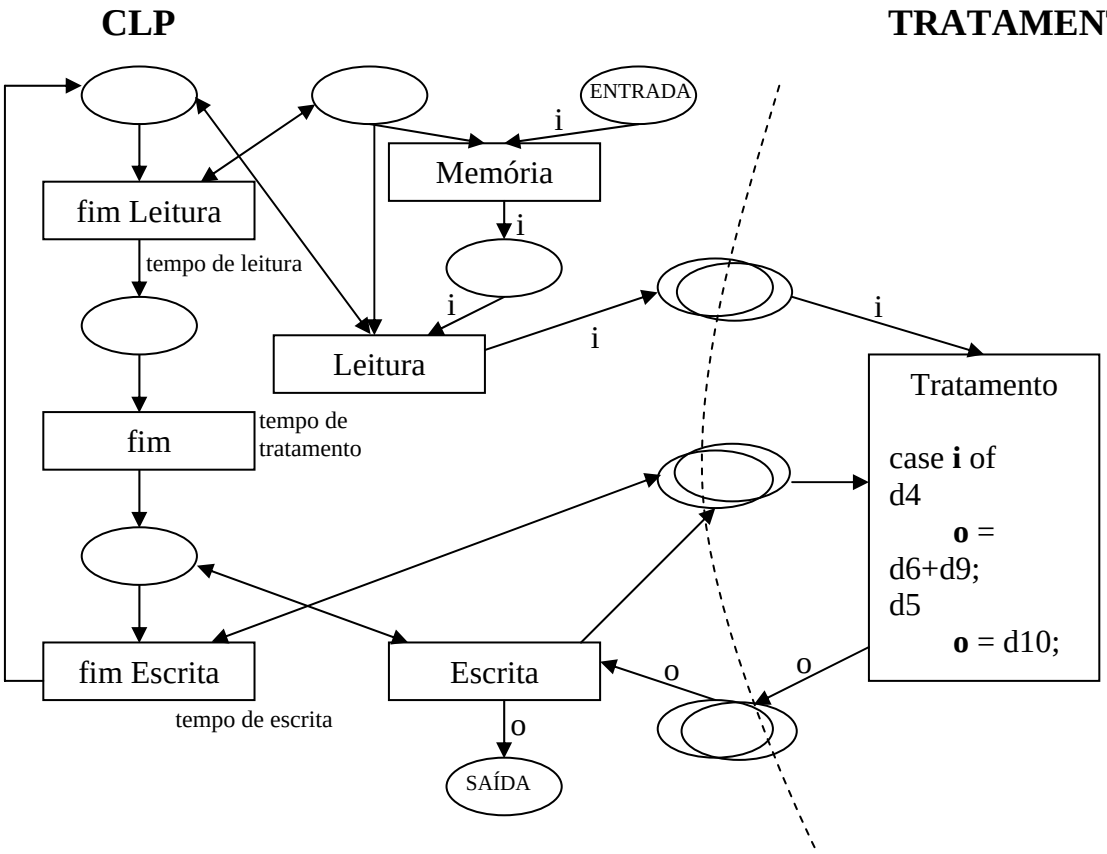


Figura 4.7.1 - Projeção do modelo de um tratamento de um CLP.

4.8 - Arquitetura de Supervisão e Controle e Redes de Comunicação

O projeto de Sistemas Automatizados requer, entre outras atividades, a especificação de uma arquitetura de comando. Sobretudo em sistemas com estrutura de controle-comando bastante distribuída, esta especificação é determinante para todo o restante do ciclo de vida do sistema em questão.

Nesses casos, o projetista vê-se face à difícil tarefa de, numa fase inicial de projeto, escolher uma arquitetura de comando capaz de atender a pré-requisitos funcionais tais que tempos de resposta do sistema. Neste capítulo são apresentados conceitos práticos referentes a diferentes arquiteturas industriais utilizadas para Supervisão e Controle.

Com o objetivo de obtermos melhores níveis de flexibilidade e reatividade no meio industrial, os sistemas de controle-comando de um Sistema Automatizado (SA) são freqüentemente organizados de forma distribuída: as partes operativas comandadas por diversos Controladores Lógicos Programáveis (CLP), estes, por sua vez, muitas vezes controlados através de um sistema de supervisão; as trocas de dados entre as diversas estruturas físicas de comando sendo realizadas por meio de uma rede local. Portanto, torna-se extremamente difícil para o projetista escolher uma arquitetura de comando adequada aos sistemas distribuídos, sobretudo no que diz respeito a análise de tempo de resposta do sistema como um todo. Isso porque, de forma geral, os fabricantes de equipamentos conhecem perfeitamente os componentes de seus sistemas de controle individualmente, mas não dispõem de informações sobre a interação entre os diferentes componentes do sistema ou influência de parâmetros.

Um sistema **Supervisório ou SCADA**, como é conhecido no ambiente industrial, opera de acordo com vários fatores tanto em nível de software como em nível de hardware. A presença de um ambiente de comunicação entre elementos de controle e monitoração é atualmente uma tendência que traz benefícios e sofisticações ao sistema, possibilitando a integração de todo sistema automatizado. Para permitir que se estabeleça uma comunicação do sistema de supervisão e controle com as outras partes possibilitando uma troca dinâmica de dados entre a parte operacional e comando, uma série de elementos são necessários para estabelecer esse processo. Este capítulo será dividido em dois itens: o primeiro aborda os principais elementos para um sistema de controle e supervisão e no item subseqüente será apresentado modelo típico de arquitetura de Supervisão e Controle enfatizando a Automação Comercial, mais direcionado a edificações de super e hipermercados, sendo apresentado elementos para comunicação e controle juntamente com o sistema para envio de imagens em tempo real.

4.8.1 – Sistema de Supervisão e Controle

Num Sistema Automatizado, sensores são utilizados para aquisição de dados informativos dos sistemas controlados, os quais convertem parâmetros físicos, tais como presença física de um corpo, níveis de água, temperatura, etc. para sinais analógicos e digitais para as estações remotas. Por outro lado, os Atuadores são utilizados como o próprio nome indica, para atuar no sistema. Os atuadores podem ser considerados como dispositivos de saída das unidades remotas.

Sensores e atuadores são dispositivos conectados aos equipamentos monitorados e/ou controlados pelos sistemas SCADA - *Supervisory Control and Data Acquisition*, designados com Sistema de Supervisão e Controle. Os primeiros sistemas SCADA permitiam informar periodicamente o estado corrente do processo industrial, monitorando sinais representativos de medidas e estados de dispositivos, através de um painel de lâmpadas e indicadores sem que houvesse qualquer interface de aplicação com o operador.

Um Sistema de Supervisão é responsável pelo monitoramento de variáveis de controle do sistema. O maior objetivo de um Sistema Supervisório é dar significado para o operador (homem-máquina) controlar ou monitorar um processo automatizado mais rapidamente. Através do mesmo obtêm-se a leitura das varáveis em tempo real permitindo um controle e gerenciamento do andamento do processo em questão.

As tarefas enviadas ao dispositivo automatizado são monitoradas com a possibilidade de intervenção pelo próprio controlador (homem) ou com auxílio do computador que executa funções lógicas pré-programadas no sistema de supervisão. A figura4.8.1 exemplifica um controle supervisório.

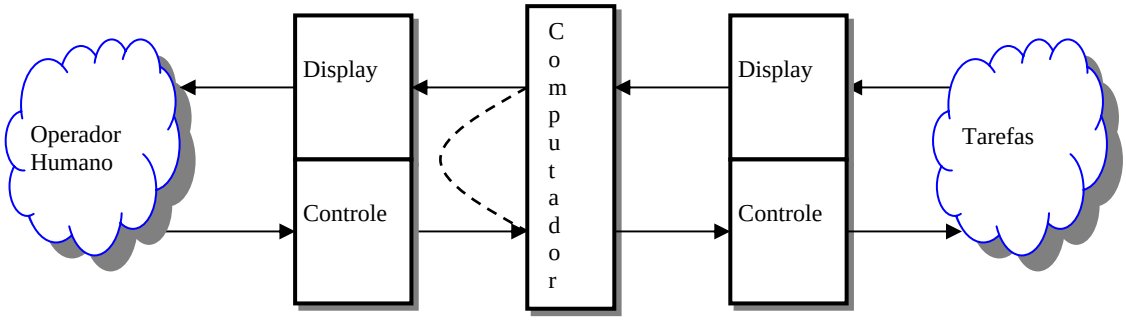


Figura 4.8.1 - Controle Supervisório.

Com a evolução tecnológica, os computadores assumiram um papel de gestão na aquisição e tratamento de dados, permitindo a sua visualização num monitor de vídeo e a geração de funções de controle complexas.

Estes sistemas revelam-se de crucial importância na estrutura de gestão de Sistemas, diante disto eles deixaram de serem vistos como mera ferramenta operacional, ou de engenharia, e passaram a serem vistos como uma importante fonte de informação e controle.

Num ambiente industrial cada vez mais complexo e competitivo, os fatores relacionados com a disponibilidade e segurança da informação assumem elevada relevância tornando-se necessário garantir que a informação está disponível e segura quando necessária, independentemente da localização geográfica, sendo assim, importante e necessário a implementação mecanismos de acessibilidade, mecanismos de segurança e tolerância à falhas.

Os sistemas SCADA melhoram a eficiência do processo de monitoração e controle, disponibilizando em tempo útil o estado atual do sistema através de um conjunto de previsões gráficas e relatórios, de modo a permitir a tomada de decisões operacionais apropriadas, quer automaticamente, quer por iniciativa do próprio operador.

Atualmente os Sistemas Supervisórios podem ser definidos como uma interface homem-máquina (IHM) amigável, os quais utilizam tecnologias de computação e comunicação que permitem a supervisão e/ou o controle de sistemas automatizados, a partir do monitoramento e

controle dos Sistemas Automatizados, efetuando o recolhimento dos dados em ambientes complexos, eventualmente dispersos geograficamente, e os respectivos sistemas apresentam uma visualização de modo amigável com o usuário, com recurso Interface Homem-Máquina (IHM) altamente sofisticados.

4.8.2 - Características dos Sistemas Supervisórios

Entre os Sistemas Supervisórios existentes no mercado podemos citar o Wizcon [1], Ifix [2], Intouch [3], Elipse [4], Cimplicity [5], dentre outros. Dentre as principais características necessárias para atender os requisitos para um Sistema Supervisório (figura 4.8.2.1) podemos destacar:

- Interface amigável com o operador, ou seja, o sistema de supervisão tem que propiciar ao operador uma facilidade de visualização gráfica e operação do sistema;
- Geração automática de relatórios – Controle Estatístico do Sistema;
- Histórico de tendências (acompanhamento das variáveis controladas);
- Facilidade para interação com outros aplicativos (software);
- Acesso automático a banco de dados;
- Acesso compartilhado e Remoto
- Conexão em rede e através de modem ou rádio;
- Gerenciamento das condições de alarmes.

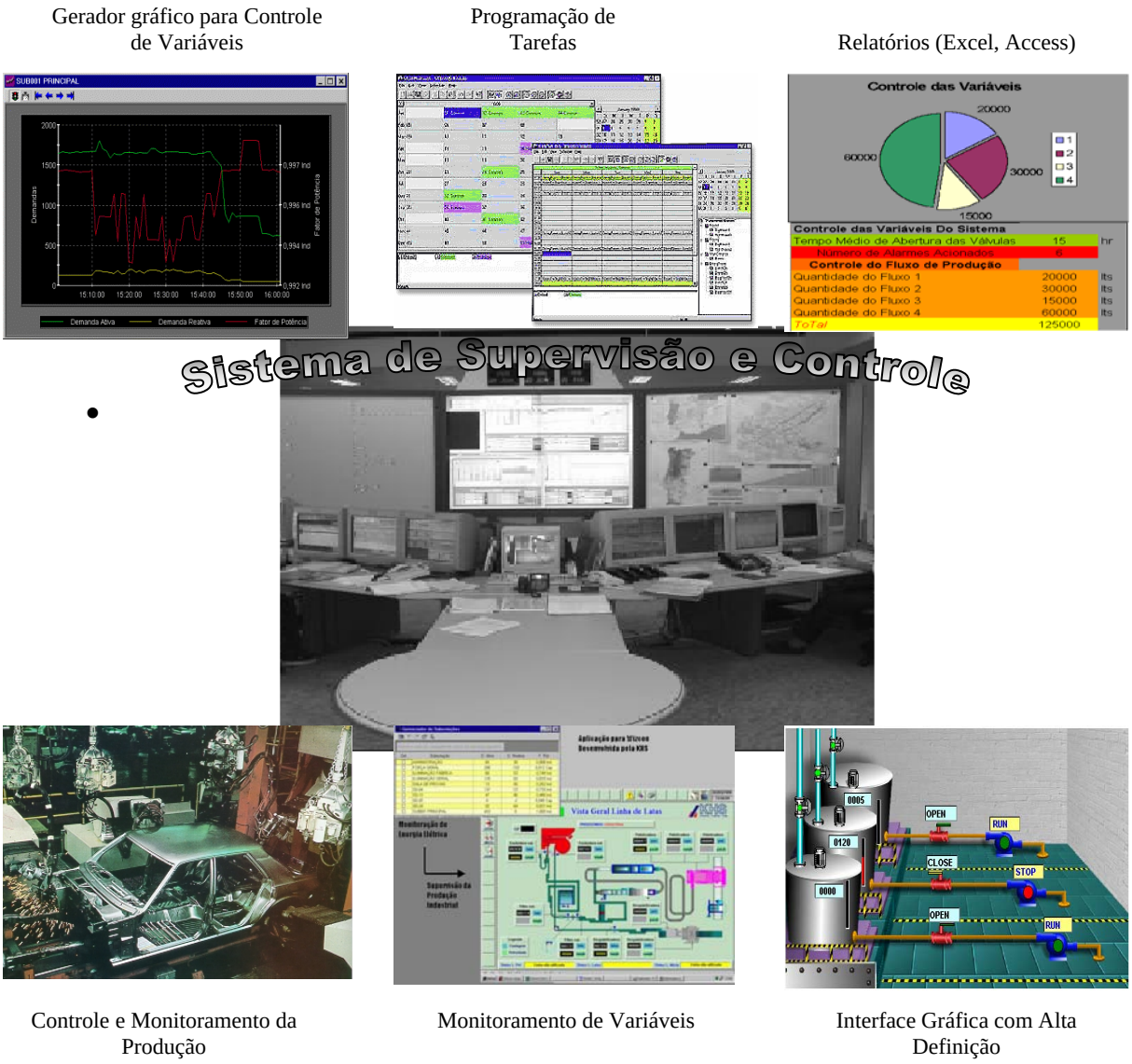

Gerador gráfico para Controle de Variáveis
Programação de Tarefas
Relatórios (Excel, Access)
Controle das Variáveis
Controle das Variáveis Do Sistema
Sistema de Supervisão e Controle
Controle e Monitoramento da Produção
Monitoramento de Variáveis
Interface Gráfica com Alta Definição

Figura 4.8.2.1 – Principais Características de um Sistema de Supervisório

Os sistemas SCADA cobrem um mercado cada vez mais vasto, podendo ser encontrados em diversas áreas tais como: indústria de celulose, petrolíferas, hidroelétricas, têxtil, metalúrgica, automotiva, eletrônica, hotelaria, hospitais entre outras.

Os sistemas de Supervisão e Controle estão, cada vez mais, sendo empregados em automações prediais, área esta conhecida como Domótica. Na figura 4.8.2.2 abaixo é apresentada uma visão de um hipermercado.

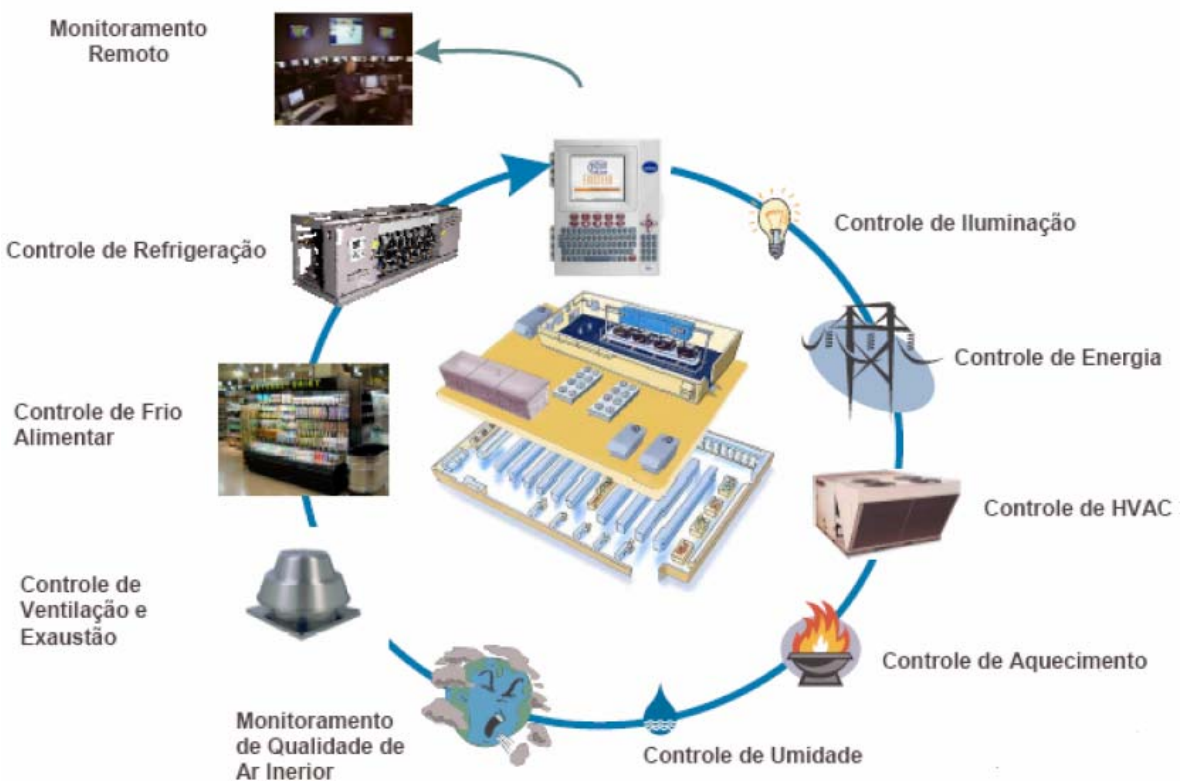


Figura 4.8.2.2 – Sistema supervisório de Hipermercado

Fonte: Emerson Tecnologies – 2007

4.8.2.1 – O Controle Supervisório

No sentido mais amplo o controle supervisório significa que um ou mais operadores humanos estão intermitentemente programando e continuamente recebendo informações provindas do computador que fecha uma malha de controle através de atuadores artificiais e sensores para o processo controlado ou tarefa envolvida, enquanto que num sentido mais restrito o controle supervisório significa que um ou mais operadores (humanos) estão continuamente programando e recebendo informações provindas de um computador o qual está interconectado com atuadores artificiais e sensores para o processo controlado ou tarefa envolvida.

Em ambas as definições, o computador transforma informações do homem para o processo controlado e do processo controlado para o homem, mas somente segundo a definição mais restrita o computador faz necessariamente uma malha de controle fechada que exclui o homem, fazendo desta maneira o computador um controlador autônomo para algumas variáveis, pelo menos por algum espaço de tempo.

Em cada caso o computador, pode funcionar principalmente sobre o transporte de informação ou do lado do próprio controle para implementar o comando do supervisório (geralmente faz algumas partes da totalidade e deixa outras partes para o homem, ou fornece alguns controles de compensação para facilitar o controle das tarefas pelo homem). Alternativamente, o computador pode funcionar principalmente sobre o lado de monitoramento (para integrar e interpretar a entrada de informação provinda de "baixo", ou para servir como um "sistema esperto" instruindo o supervisor o que fazer na próxima etapa). Geralmente ele faz alguma de cada.

Uma vez o supervisor rodando o controle no computador, o computador executa o programa armazenado e atua sobre novas informações provindas de sensores, independentemente do homem, ao menos por um período curto de tempo. O homem pode permanecer como um supervisor ou pode de tempo em tempo assumir diretamente o controle (isto é chamado de "*traded control*") ou pode influenciar como supervisor com o respectivo controle de algumas variáveis e controlar diretamente com auxílio de outras variáveis ("*shared control*").

Programas Supervisório:

- Possuem estrutura delicada, e devem ser instalados em computadores (de preferência industriais) em sala especialmente preparada (temperatura controlada) e sistemas de *No-break*.
- Exigem grande espaço físico na instalação. (no mínimo $2m^2$).
- Permitem armazenar grandes bancos de dados.
- Permitem animações.
- Possibilidade de utilização para a finalidade de computador.
- Possuem grande capacidade gráfica.

5- Materiais e Métodos – Estudo de caso (Hipermercado)

Após avaliação do sistema elétrico do estabelecimento comercial, com cerca de trinta anos em funcionamento, observou-se que, embora promovidas diversas intervenções localizadas em suas instalações elétricas, determinados sistemas, como o de ar condicionado central, ainda apresenta alguma deficiência e poderia ser melhorado. Com a intensão de demonstrar a viabilidade dessa melhoria, observou-se que existe a possibilidade de incorporação de novos dispositivos de monitoramento, aos já existentes no sistema de condicionamento de ar central.

A partir disso, elaborou-se um protótipo contendo alguns dispositivos de automação que podem ser implementados no sistema de ar condicionado, contendo um CLP (controlador lógico programável), conversor de tensão, inversor de freqüência, motor trifásico ½ cv, termoresistência e alguns acessórios que permitem simular o sistema de ventilação e circulação de água gelada no sistema.

O estabelecimento comercial em questão (figura 5.1) foi concebido inicialmente com uma área de atendimento de 11.970 m^2 e, após algumas reformulações, conta atualmente com uma área de 9.970 m^2, agregada a áreas exploradas por terceiros como: loja de materiais para construção, churrascaria, *fast food*, praça de alimentação, lojas, postos bancários, caixas eletrônicos, lotérica e outros, totalizando 27 lojas e postos de serviço agregados ao hipermercado, com certa característica de *shopping center*.

Para viabilizar esse estudo, inicialmente realizou-se um levantamento de dados consistentes do consumo de energia elétrica geral, através de um aparelho registrador de consumo, que foi instalado em pontos estratégicos, como na saída do transformador principal, transformador secundário, na alimentação do sistema de ar condicionado central e frio alimentar, para se obter um diagnóstico preciso do sistema elétrico.

O sistema de alimentação de energia elétrica desse prédio conta com duas (2) subestações, sendo o principal com **2 transformadores de 1000 kVA** trabalhando paralelamente fornecendo energia do hipermercado, e outro de **300 kVA** para a frente da loja, locatários, páteo

de estacionamento e posto de gasolina que compõem essa loja. Conta também com um grupo de geradores a diesel de **4 x 250 kVA**, operando em *standby*, no caso de falha de fornecimento ou alivio no período de pico, além de um sistema de *noobreak*, que alimenta as caixas registradoras.

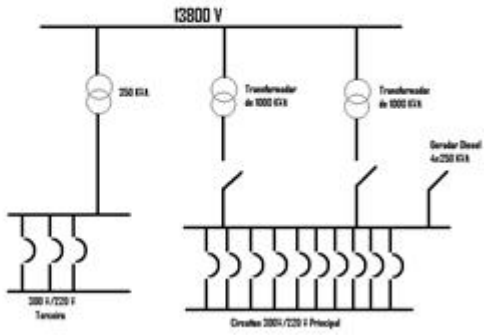


Figura 5.1 – Diagrama unifilar do sistema de alimentação

Esse estabelecimento se enquadra na condição de consumidor livre, não por essa loja, mas quando somado ao restante do grupo, que conta atualmente com cerca de 100 lojas desse porte no País, com direito à escolha de fornecedor de energia elétrica, o que lhe permite negociação tarifária com qualquer concessionária de energia elétrica do país.

Com isso, a partir da elaboração do diagnóstico do sistema de alimentação geral de energia elétrica, onde atualmente a supervisão do frio alimentar e o de ar condicionado central trabalham isoladamente, poder-se-ia verificar a possibilidade de integração geral aos outros sistemas, permitindo uma supervisão e gerenciamento geral de toda loja, resultando em maior eficiência e economia.

A integração dos sistemas de supervisão e gerenciamento de energia, num primeiro instante pode representar um investimento considerável sob a óptica do empreendedor. Mas ao longo do tempo, torna-se um grande benefício, visto que numa intervenção necessária (caso de pane, alívio ou manutenção do sistema) é quase imediata, que certamente representaria economia de energia e deslocamento desnecessário de pessoal de serviços (como os de administração e manutenção predial, que costumam contar com um número reduzido de efetivos).

Figura 5.2 - Hipermercado Carrefour Dom Pedro - Objeto do estudo

Como se trata de uma construção da década de setenta (1978), com cerca de três décadas de funcionamento (trinta anos de atividade), durante esse período essa loja tem passado por constantes reformas ou *retrofits*, principalmente a inclusão de um novo equipamento de ar condicionado central (de 300 TR – Toneladas de Refrigeração), em 1997, somando-se aos dois existentes de 175 TR, totalizando 650 TR. E isso implicou num acréscimo de carga no sistema, além da introdução de alguns dispositivos de automação e controle do sistema elétrico existente, como a supervisão de iluminação, medição remota de energia e substituição de determinados equipamentos de refrigeração (balcões expositores de alimentos, horizontal e vertical) por outros mais modernos e eficientes.

A preocupação da administração tem sido na melhoria da eficiência do sistema elétrico, cuja demanda média atualmente observada é de cerca de 600.000 kWh/mês. E grande empenho foi investido na melhoria do sistema de iluminação artificial, com a instalação de sistemas de supervisão, gerenciamento e medição remota, que permitem ligar ou desligar determinado departamento da loja, através de um computador localizado no setor de manutenção, conforme conveniência da administração.

Essa operação ainda é manual, sem sensores de iluminação ou de presença setorizada, que poderiam medir o nível de iluminamento artificial trabalhando em conjunto com o natural e a radiação gerada pela presença humana, que enviaria um sinal elétrico ao computador e automaticamente diminuiria a intensidade de luz. Mas essa possibilidade está prejudicada, devido às características construtivas (sem janelas e clarabóias).

No sistema de ar condicionado central, essa intervenção é ainda mais problemática, pois o painel de controle (IHM-Interface Homem Máquina) de temperatura e vazão de água gelada no sistema está localizado no próprio equipamento. Conforme as condições internas, as variações de temperaturas de fornecimento do sistema são realizadas no IHM do próprio equipamento, que se encontra em uma área restrita, de difícil acesso, e, consequentemente, demanda certo tempo para realizar essa alteração , como também da sensibilidade e disponibilidade do interventor.

5.1 – Metodologia

Além da coleta de dados da alimentação de energia elétrica, do transformador principal e do transformador secundário, foram também requisitadas informações complementares ao departamento de manutenção, sobre as características de consumo dessa loja, como:

Informações sobre o consumo geral de energia elétrica da edificação;

- Reformas e trocas de equipamentos;
- Reformas aplicadas no sistema elétrico;
- Tipos de intervenção sob certos equipamentos e situações;
- Negociação tarifária junto à concessionária;
- Informações sobre deficiências e dificuldades no monitoramento de algum sistema ou setor da loja.

Com isso, verificou-se que o sistema responsável pelo maior consumo de energia elétrica, foi o de condicionamento ambiental, que, devido a suas características construtivas (projeto e equipamento pouco ultrapassado), existe a possibilidade de se otimizar esse sistema com a incorporação de inversores de freqüência e termorresistências nas saídas de dutos de determinadas regiões do hipermercado, controlando a demanda e a temperatura de ar insuflado nos ambientes.

A partir de diagnósticos obtidos no levantamento, pode-se verificar que, embora feitas constantes melhorias e reformas nas instalações, ainda existem pontos que apresentam falhas, devido às características construtivas, provocando distúrbios em sua rede interna de energia como, por exemplo, desbalanceamento de fases, distorções harmônicas e outros.

Outro ponto observado foi a possibilidade de implementação de novos dispositivos de automação trabalhando em conjunto com sistema de supervisão geral da loja, onde se permitiria uma melhoria no gerenciamento dos insumos energéticos, sob determinados setores que ainda trabalham de forma autônoma, principalmente no sistema de ar condicionado central, e é neste

ponto que se pretende realizar esse estudo de otimização energética, com aplicação de dispositivos de automação (incorporando-se aos controladores lógicos programáveis existentes, módulos de expansão, inversores de freqüência, termossensores e transdutores).

O fornecimento de energia elétrica desse hipermercado é realizada pela concessionária local, **CPFL** (**Companhia Paulista de Força e Luz)**, em **380V**, **Trifásica mais Neutro** com **Fase A, Fase B e Fase C,** e para viabilizar esse estudo, inicialmente foi instalado o aparelho registrador **RMS Marh-21** (figuras 5.1.1 e 5.1.2) na entrada de alimentação principal (**cabine primária – composto de dois transformadores a óleo de 1000 kVA**, trabalhando em paralelo).

Posteriormente instalou-se o mesmo aparelho registrador no circuito de alimentação dos equipamentos do sistema de refrigeração (frio alimentar e ar condicionado), cuja estimativa é que esses equipamentos sejam responsáveis por cerca de 50% nesse tipo de estabelecimento, e finalmente em outra cabine (**transformador seco de 300kVA**) que alimenta os locatários, posto de gasolina e frente da loja inclusive páteo de estacionamento, além das caixas registradoras.

Figura 5.1.1- Registrador RMS Marh 21

Figura 5.1.2- Coleta de dados – barramento da cabine primária

O aparelho **RMS Marh-21** permite registrar várias grandezas abaixo relacionadas, em intervalos de 20 segundos, apresentando um diagnóstico bastante confiável, preciso e detalhado do sistema de alimentação de energia elétrica encontrado nesta loja:

- Tensão elétrica de fase (fase-neutro) A, B, e C (V);
- Tensão elétrica de linha (fase-fase) AB, BC, e CA (V);
- Corrente elétrica de fase A, B, e C (A);
- Fatores de Potência A, B e C;
- Fator de Potência Total;
- Freqüências (Hz);
- Freqüências instantâneas (Hz);
- Potência ativa (kW);
- Potência reativa indutiva (kvar);
- Potência reativa capacitiva (kvar);
- Potência aparente (kVA);
- Energia Ativa Total (kWh);
- Energia Reativa Capacitiva total (kvarh);
- Energia Reativa Indutiva total (kvarh);
- Distorção Harmônica Total em Tensão;

- Distorção harmônica Total em Corrente.

Esse aparelho ficou instalado em três pontos estratégicos (transformador principal, sistema de ar condicionado e frio alimentar, e transformador secundario) durante 15 dias, registrando e acumulando dados de consumo de energia durante 24 horas ininterruptas, com intervalo de 20 segundos, o que possibilitou um diagnóstico bastante preciso do sistema de fornecimento de energia elétrica da loja.

Os dados registrados no aparelho foram armazenados numa memória interna do aparelho, onde, através de um software, é possível a transferência desses dados para uma planilha do Excel, ou mesmo apresentando, numa tela de computador, o dignóstico gráfico do sistema de alimentação de energia, como mostra a figura 5.1.3.

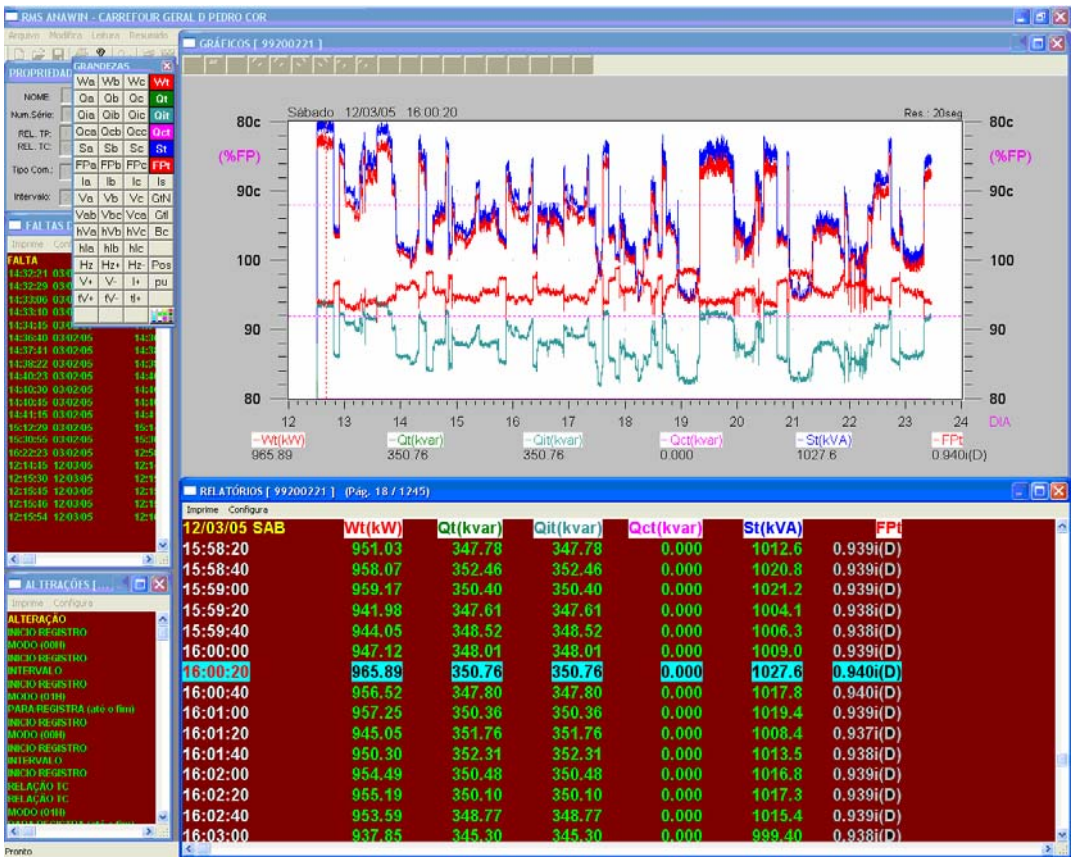


Figura 5.1.3 – Diagnóstico do transformador principal

Após análise desses dados, serão sugeridas possíveis medidas de intervenção, onde se permita uma correção e melhoria da qualidade de energia do sistema de alimentação, através de dispositivos de automação e supervisão, utilizando-se o conceito de “edifício inteligente”.

5.1.2 – Sistema de alimentação de energia elétrica

A cabine primária principal conta com dois transformadores refrigeradas à óleo de 1000 kVA (Figura 5.1.2.1), trabalhando em paralelo e alimentando a loja principal, e outro com um transformador à seco de 300 kVA (Figura 5.1.2.2), responsável pela fornecimento de energia pelo setor de frente da loja, como as lojas de terceiros (locatários), figura 5.1.2.3, *home center*, páteo de estacionamento, posto de gasolina, e as caixas registradores, além de sistema de grupo de 4 geradores a diesel de 250 kVA em *standby*, que entram em operação em caso de falha no fornecimento de energia pela concessionária, conforme se pode ver nas figura 5.1.2.1, abaixo.

Foto 5.1.2.1 - Transformador Principal I - 1000 kVA

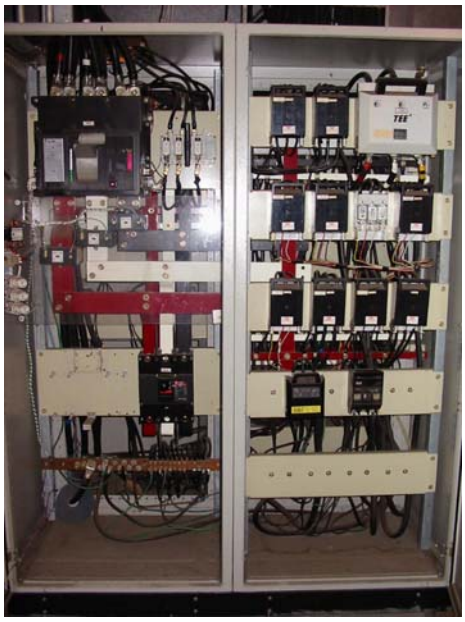


Figura 5.1.2.2 - Painel de controle do transformador II – 300 kVA

Figura 5.1.2.3 – Grupo gerador à diesel com 4x 250 kVA

Na cabine primária, que alimenta a loja principal, já se encontra incorporado um sistema de medição remota da “Engecomp”, cujo esquema de funcionamento (arquitetura) é apresentado na figura 5.1.2.4, onde a supervisão e o gerenciamento da entrada de energia são monitorados numa sala interna de controle, como também através da rede corporativa, e ainda

remotamente pela concessionária, permitindo um monitoramento do consumo *on line*, assim como dados de consumo instantâneo, diário, mensal, como mostra a figura 5.1.2.5.

Figura 5.1.2.4 – Sistema de Medição Remota no quadro de energia principal

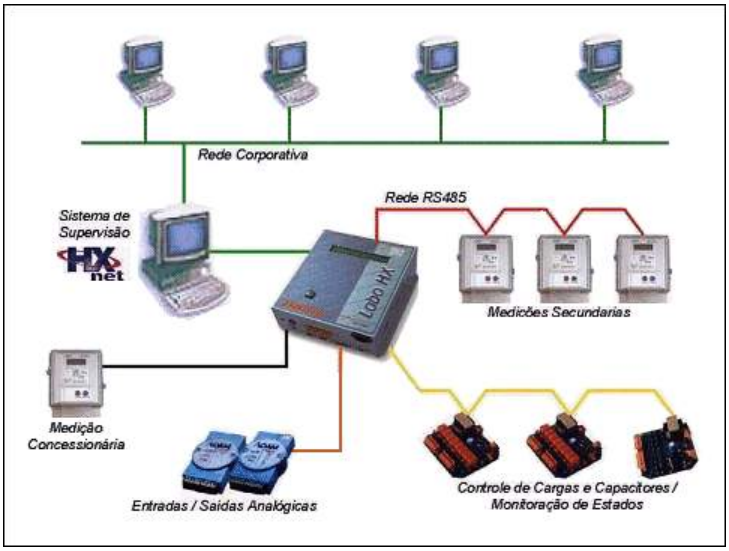


Figura 5.1.2.5 – Esquema de funcionamento do sistema de supervisão de energia elétrica
Fonte: Engecomp – www.engecomp.com.br – acessado 12/07/2005

O aparelho registrador RMS Math 21, de coleta de dados ficou instalado na saída da cabine primária que alimenta a loja principal, a fim de se obter um diagnóstico detalhado desse

consumo, registrando o consumo durante 24 horas por dia, com intervalo de 20 em 20 segundos, num período de 11 dias do mês de março, do dia 12/03/2005 a 23/03/2005, num período bastante quente, onde os equipamentos de refrigeração e do ar condicionado central foram bastante solicitados.

Esses dados podem ser observados na figura 5.1.2.6, onde apresenta um diagnóstico detalhado do consumo da loja durante esse período, que se verificaram grandes oscilações, principalmente devido ao sistema de ar condicionado central, e que em determinados períodos do dia, é desligado manualmente pelo funcionário da manutenção junto ao equipamento, com a intensão de economizar energia elétrica, seguindo as orientações da administração do prédio, demandando tempo e desgaste físico do funcionário.

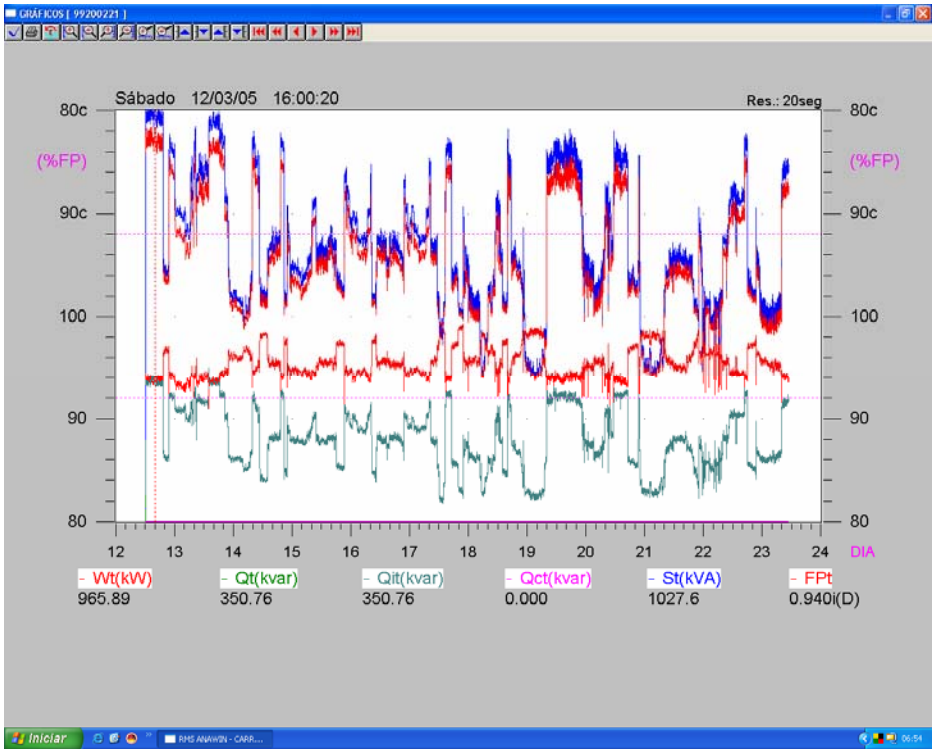


Figura 5.1.2.6 – Consumo geral registrado da loja principal

Tabela 6 – Registro de demanda do transformador principal

RELATÓRIOS [99200221] (Pág. 18 / 1245)

Imprime Configura

12/03/05 SAB	Wt(kW)	Qt(kvar)	Qit(kvar)	Qct(kvar)	St(kVA)	FPt
15:52:00	935.47	345.05	345.05	0.000	997.07	0.938i(D)
15:52:20	931.03	345.18	345.18	0.000	992.96	0.938i(D)
15:52:40	947.33	347.81	347.81	0.000	1009.2	0.939i(D)
15:53:00	952.64	346.12	346.12	0.000	1013.6	0.940i(D)
15:53:20	948.15	344.23	344.23	0.000	1008.7	0.940i(D)
15:53:40	937.70	345.12	345.12	0.000	999.20	0.938i(D)
15:54:00	939.46	345.04	345.04	0.000	1000.8	0.939i(D)
15:54:20	938.46	346.25	346.25	0.000	1000.3	0.938i(D)
15:54:40	947.59	344.96	344.96	0.000	1008.4	0.940i(D)
15:55:00	950.58	345.56	345.56	0.000	1011.4	0.940i(D)
15:55:20	953.44	345.73	345.73	0.000	1014.2	0.940i(D)
15:55:40	939.06	343.23	343.23	0.000	999.82	0.939i(D)
15:56:00	943.56	350.93	350.93	0.000	1006.7	0.937i(D)
15:56:20	954.63	355.25	355.25	0.000	1018.6	0.937i(D)
15:56:40	940.98	344.22	344.22	0.000	1002.0	0.939i(D)
15:57:00	949.50	343.32	343.32	0.000	1009.7	0.940i(D)
15:57:20	955.43	348.87	348.87	0.000	1017.1	0.939i(D)
15:57:40	960.14	348.96	348.96	0.000	1021.6	0.940i(D)
15:58:00	943.89	347.97	347.97	0.000	1006.0	0.938i(D)
15:58:20	951.03	347.78	347.78	0.000	1012.6	0.939i(D)
15:58:40	958.07	352.46	352.46	0.000	1020.8	0.939i(D)
15:59:00	959.17	350.40	350.40	0.000	1021.2	0.939i(D)
15:59:20	941.98	347.61	347.61	0.000	1004.1	0.938i(D)
15:59:40	944.05	348.52	348.52	0.000	1006.3	0.938i(D)
16:00:00	947.12	348.01	348.01	0.000	1009.0	0.939i(D)
16:00:20	965.89	350.76	350.76	0.000	1027.6	0.940i(D)
16:00:40	956.52	347.80	347.80	0.000	1017.8	0.940i(D)

Observa-se no gráfico anterior e na tabela acima que, às 16 horas e 20 segundos do sábado, dia 12/03/2005, geralmente de grande movimento, ocorreu um pico de Potência Aparente de 1027,6 kVA, ou seja, num período muito pequeno (que não causa nenhum problema no fornecimento de energia do sistema) e que após alguns minutos abaixou para menos de 1000 kVA, ao passo que, na maioria do período em que ficou registrando os dados de consumo ficou abaixo dos 750 kVA, o que comprova que apenas transformador de 1000 kVA atenderia perfeitamente essa demanda.

Com relação ao transformador secundário (300 kVA), que atende os locatários, o sistema de medição remota ainda não foi implantado, cuja coleta de dados sobre o consumo ainda é feita manualmente e, posteriormente, enviada aos locatários. Existe porém, a possibilidade de

instalação do sistema de supervisão e monitoramento, já que esses equipamentos permitem esse tipo de acoplamento, como mostra a foto 5.1.2.6.

Foto 5.1.2.6 – Medidor de energia de locatário

Já com relação à alimentação de energia elétrica dos caixas registradoras, existe um sistema de segurança localizado, o sistema de *nobrake*, que garante o funcionamento desses equipamentos mesmo na falta de energia durante certo período, como mostra a figura 5.1.2.7.

Figura 5.1.2.7 – Sistema de *nobrake* que alimenta os caixas registradores

O consumo registrado no transformador secundário (300 kVA) apresenta uma característica interessante, onde se observam picos de consumo, contudo, não há interrupção de fornecimento de energia. Isso se deve ao fato desse transformador ser responsável pela

iluminação de todo páteo externo (estacionamento), que são desligados após a meia noite, ficando apenas a parte responsável pelo sistema de segurança patrimonial do prédio.

Outro problema observado nesse transformador foi o desbalanceamento de fases e o baixo fator de potência, onde há a necessidade de instalação de capacitores e de mudança na alimentação das fases, para que se minimize o desequilíbrio entre elas (figura 5.1.2.8).

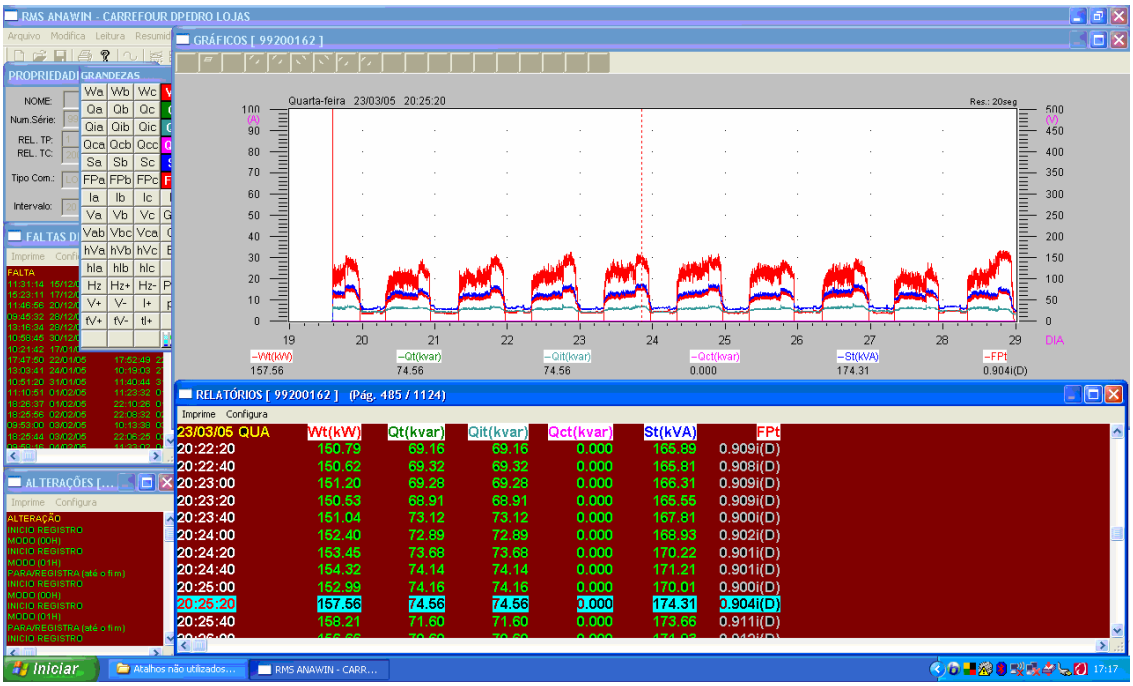


Figura 5.1.2.8 – Diagnóstico registrado do transformador II

5.2 – Frio Alimentar

Nos supermercados modernos, as áreas dedicadas a alimentos resfriados e congelados não param de crescer. Elas são verdadeiras vitrines de sedução para os consumidores de grandes centros urbanos que, cada vez mais ocupados, procuram praticidade no preparo das refeições e aproveitam os constantes lançamentos das indústrias alimentícias.

Nos últimos anos, tem aumentado especialmente a oferta de alimentos prontos ou semi-prontos, e a demanda crescente por eles, para o supermercadista, é muito vantajosa, pois normalmente possuem alto valor agregado e geram impacto direto na rentabilidade do empreendimento.

Mas, para garantir a disponibilidade desses produtos e a sua correta conservação, é preciso não descuidar do controle constante das condições de temperatura ao longo de toda a cadeia de frio, o que inclui o ponto de venda.

A cadeia do frio engloba todo o trajeto percorrido desde o produtor do alimento até o consumidor final. Esse longo caminho exige uma refrigeração constante que obedeça aos parâmetros exigidos por cada alimento in natura ou às faixas de temperaturas recomendadas pelos fabricantes, no caso de alimentos processados.

Naturalmente, a cadeia do frio pressupõe que o transporte desde a fábrica até as câmaras frigoríficas dos pontos de vendas seja feito em veículos frigoríficos. Os consumidores são responsáveis pelo último elo dessa cadeia, devendo transportar o mais rapidamente possível, desde o local de compra até o seu próprio refrigerador. São essenciais os cuidados em cada um dos pontos de venda.

Figura 5.2.1 – Cadeia de frios – do produtor ao consumidor
Fonte: Revista ABRAVA – março de 2006, ano 30, pg 31.

Pelo simples fato de um produto ser alimentício (seja carne, verdura, fruta, hortaliça, ave ou peixe), pressupõe-se deteriorável conforme o tempo (devido sua composição orgânica). Então, para que suas características se mantenham ideais ao consumo, tem-se que recorrer necessariamente, a recursos da refrigeração, utilizando-se de balcões frigoríficos, câmaras frigoríficos e outros mecanismos, largamente empregado na vida moderna.

A conservação pelo frio, entretanto, não consiste apenas num tratamento inicial do produto a se conservar. Ela exige a manutenção permanente das condições ótimas de conservação, como temperatura, umidade relativa e deslocamento do ar, o que pressupõe a existência de uma completa cadeia de frios, que inclui a preparação, o transporte, o armazenamento, a venda, isto é, a proteção do produto desde sua produção até o ponto de consumo.

E cada tipo de alimento requer uma condição de temperatura adequada para sua total conservação, inclusive de suas propriedades nutricionais, conforme demonstrado na tabela 5.2.2, abaixo.

Temperaturas ideais	-20 °C a -24 °C	-18 °C a -15 °C	0 °C a 2 °C	4 °C a 6 °C	6 °C a 8 °C	10 °C a 12 °C
Verduras						✔
Bolos					✔	
Laticínios				✔		
Carnes		✔ CONGELADO	✔			
Legumes		✔ CONGELADO				✔
Sorvetes	✔					

Tabela 5.2.2 – Condições de conservação dos alimentos

Fonte: Revista ABRAVA – março de 2006, ano 30, pg.29

Figura 5.2.3– Área refrigerada de preparação de alimentos para venda

Atualmente a técnica do frio é suplementada por outras de conservação, como o uso de atmosfera controlada, proteções superficiais (uso de embalagens de isopor envolvido com ou sem filme de pvc), conforme aponta Costa (2002).

E os supermercados, açougues, mercearias, sorveterias e outros estabelecimentos que trabalham com produtos alimentícios facilmente deterioráveis utilizam-se de balcões frigoríficos, gôndolas refrigeradas, câmaras frigoríficas, tudo para manter os alimentos nas condições ideais de consumo.

Figura 5.2.4 - Balcão Expositor do Açougue

5.2.1 – Balcões Frigoríficos

Um dos equipamentos largamente utilizados nesse ramo de comércio é o balcão expositor de auto-seviços, de onde o cliente retira o produto que escolheu. Geralmente são usados dois tipos de balcão em supermercados: o aberto e o fechado.

Nessa loja, em sua recente reforma na cadeia de frios, os balcões frigoríficos (expositores) de alimentos congelados e resfriados, como mostra a figura 5.2.1.1, foram substituídos por outros, mais modernos e eficientes, que expõem os produtos durante o período de atendimento e, após, ficam fechados por tampas, cortinas ou portas de vidro, mediante a

retirada de determinados alimentos e o seu depósito em câmaras frigoríficas apropriadas, como se vêem na figuras 5.2.1.2.

Figura 5.2.1.1 – Balcão expositor fechado com cortina retrátil

Nesse tipo de balcão expositor, o ar frio é menos dissipado para o meio, devido a suas características construtivas, onde os ventiladores simulam uma cortina de ar, minimizando a perda de ar frio com o meio durante o período de funcionamento da loja. Quando fechada, durante o período noturno, se utiliza de uma cortina de tecido-alumínio, fazendo com que a temperatura interna se mantenha por mais tempo e, consequentemente, se economize energia, qual mostrado na figura 5.2.1.2.

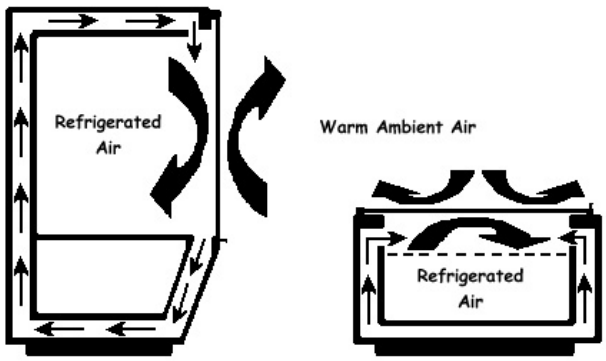


Figura 5.2.1.2 – Sistema de contenção dos balcões expositores
Fonte: Econofrost: www.econofrost.com.br – acessado em 20/01/2005

Existe também no sistema de frio alimentar um lugar onde se armazenam alimentos que necessitam uma temperatura menor para sua conservação, em torno de -20^{o}C, que são as câmaras frias, onde ficam depositados as carnes, sorvetes, derivados do leite (iogurtes, chantilis, etc.), que ficam em local reservado no interior da loja.

Figura 5.2.1.3 – Câmara fria para armazenamento de alimentos congelados

Esses equipamentos sofreram um processo de *retrofit* recentemente, e portanto já se beneficiam de grande economia em relação aos anteriores, como pode ser observado no diagnóstico apresentado na figura 5.2.1.4, onde se apresenta um consumo de energia elétrica mais uniforme, sem grandes variações.

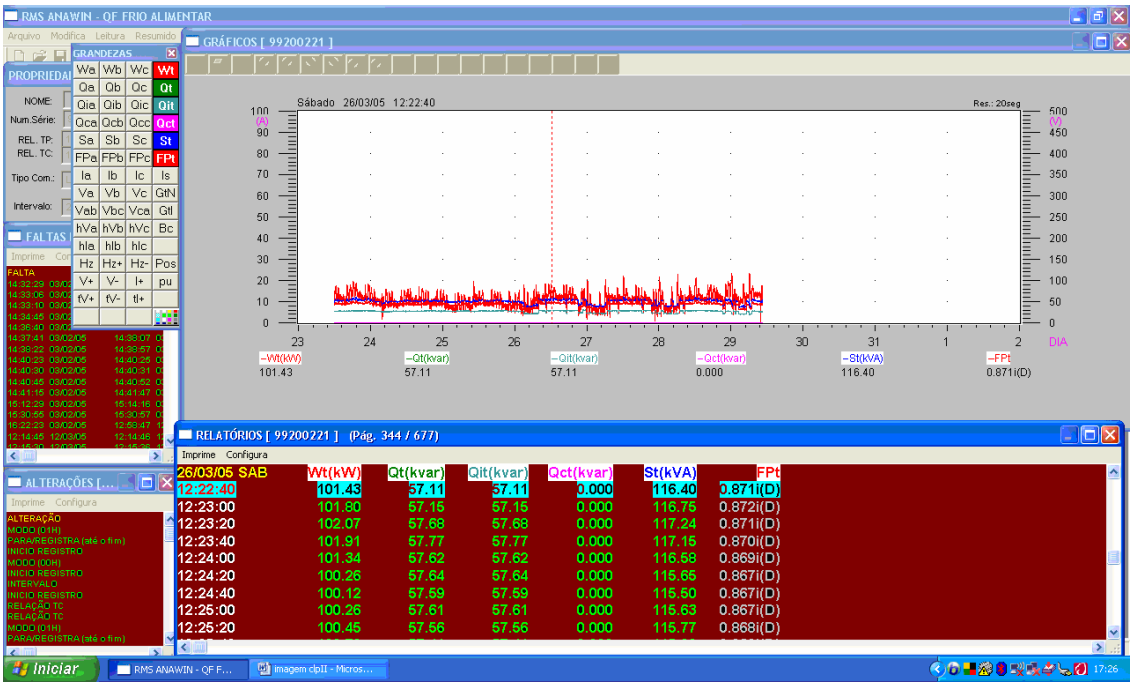


Figura 5.2.1.5 – Diagnóstico do Frio Alimentar

5.3 – Sistema de Ar Condicionado Central

Devido à crescente urbanização da sociedade moderna, a população de forma geral tem permanecido a maior parte do tempo em ambientes confinados. Para garantir, de certa forma, essa permanência, é preciso proporcionar condições aos usuários, principalmente de conforto ambiental, através de equipamentos climatizadores artificialmente, como sistemas de ar condicionado (individual ou central).

A construção de edificações adequadas ao clima e ao tipo de ocupação é de fundamental importância para o oferecimento de ambientes que atendam às expectativas humanas quanto ao conforto térmico, sem se perder de vista a necessidade de racionalização do uso de energia (nos sistemas de ventilação, refrigeração e aquecimento).

Fato é que, em muitos casos, as edificações são projetadas em função das tendências estéticas ou de exigências técnicas de produção, sem a preocupação de se adequar o ambiente às características e às limitações do homem. Esse é um problema especialmente relevante nos ambientes de trabalho, em que condições operacionais expõem trabalhadores a diferentes graus de desconforto térmico, o que certamente afeta a sua eficiência e pode, nos casos extremos, causar hipotermia ou hipertermia, provocando danos fisiológicos.

O principal objetivo de um sistema de ar condicionado é manter no ambiente, durante o ano todo, a temperatura e a umidade relativa compatíveis conforme os parâmetros de projeto, além de garantir a limpeza e a velocidade do ar recomendadas nas zonas de ocupação, de modo consistente, como também, dos níveis de ruído compatíveis com o local e com o conforto.

Os sistemas de ar condicionado são definidos, segundo a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), como "o processo pelo qual são controladas, simultaneamente, pelo menos a temperatura, a umidade, a movimentação e pureza do ar em recintos fechados, destinados à ocupação humana”.

E, segundo a **A.S.H.R.A.E** (*American Society of Heating, Refrigeration an Ar Conditioning Engeneers*), como “o processo de tratamento de ar, visando o controle simultâneo da temperatura, da umidade, da pureza e distribuição do ar, afim de atender as necessidades do recinto condicionado”, conforme aponta Villani (2000).

As principais funções de um sistema de ar condicionado são: resfriar, aquecer, umidificar, desumidificar, purificar e distribuir o ar tratado adequadamente no ambiente, a fim de assegurar condições para conforto e de respeito à saúde dos usuários.

Os efeitos do sistema de ar condicionado em materiais e produtos podem ser facilmente detectados, calculados, avaliados e medidos, porém, no conforto humano, são extremamente complexos, pois o corpo humano age como uma máquina térmica, personalizada, variando conforme raça, cor, idade, peso do indivíduo, etc.

Os seres humanos garantem sua subsistência física através da ingestão de alimentos, que, por processos biológicos e metabólicos, geram energia, consumida na vida diária. Parte dessa energia é transformada em calor; este deve ser dissipado para manter a temperatura do corpo humano constante (36,7^{o}C). O calor excedente deve ser dissipado, através de trocas entre o corpo e o meio.

Nos sistemas de ar condicionado, o processo da troca de calor homem-meio ambiente é estudado, analisado e calculado, para que ela se dê nas melhores condições possíveis, dentro de um equilíbrio térmico. Pois existe a necessidade da manutenção da temperatura do corpo humano (36,7^{o}C), e a sensação de desconforto é facilmente percebida pelo homem.

Esses sistemas podem ser divididos basicamente em três principais: sistema de produção de frio; de produção de calor (quando adotado); e de distribuição de ar tratado. Como mostra a figura 5.3.1 e 5.3.2 a seguir:

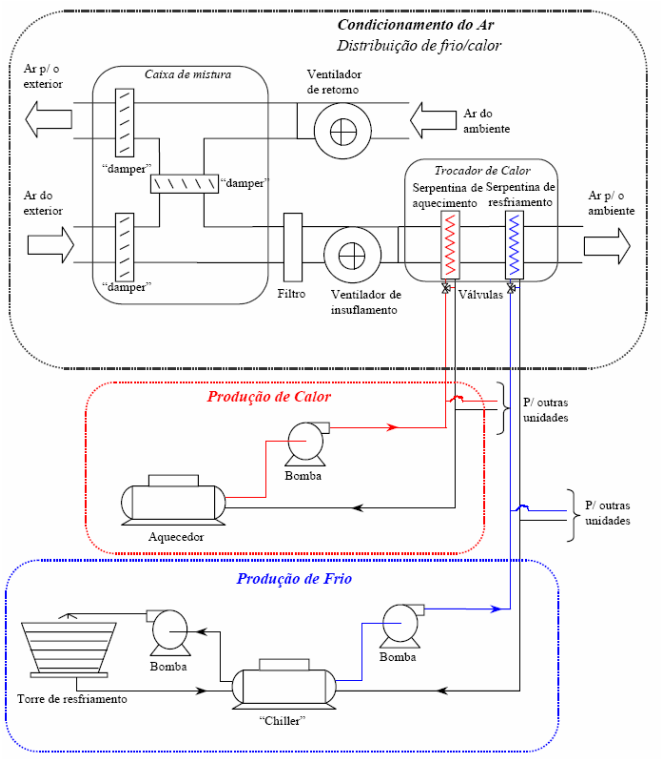


Figura 5.3.1 – Esquema genérico de sistema de ar condicionado central

Fonte: Villani (2000)

O sistema de ar condicionado central, encontrado nessa construção, assemelha-se com o demonstrado acima, todavia, sem o sistema de aquecimento, já que nessa localização é dispensável, devido as características climáticas da região, além do que, o sistema de água gelada, tem capacidade de **650 TR** (Toneladas de Refrigeração), sendo dois equipamentos para 175 TR e um para 300 TR, com duas torres de resfriamento e um tanque de armazenamento de **1.200.000** litros de água gelada a **6ºC**, como mostra a figura 5.3.3, e através de **32** ***fan coils*** distribue o ar refrigerado através de dutos com bocais difundidos por toda a loja. Comandados por CLP´s (Controladores Lógicos Programáveis), instalados nos *chillers*, que são monitorados e alterados através de intervenção humana no painel de IHM (Interface Homem Máquina), nos equipamentos.

Esses equipamentos são um tanto obsoletos, devido as suas características construtivas, e ao período de construção do empreendimento, onde diversos equipamentos que compõem o

sistema de condicionamento ambiental, tiveram ganho de eficiência e qualidade, como mostra a tabela 6.

Tabela 7 – Evolução do Compressores de Ar Condicionado

Fonte: ABRAVA - 2004

Equipamento	1970	2001
Compressor Parafuso	0,88 kW/TR	0,75 kW/TR
Compressor Centrifugo	0,85 kW/TR	0,75 kW/TR
Comp. Alternativo->Rotativo	1,39 kW/TR	1,17 kW/TR
Compres.Veloc.Variável	1,6 kW/TR	1,2 kW/TR

Na loja avaliada, o controle de temperatura é pré-estabelecida e de acordo com a necessidade de mudança de temperatura insuflada, e na tentativa de aliviar parte dos custos operacionais com energia elétrica, o operador dirigi-se até a sala desses equipamentos e executa a manobra.

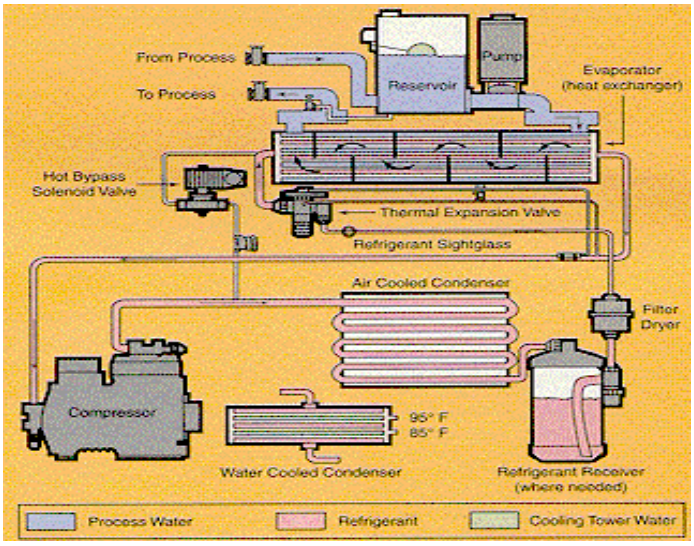


Figura 5.3.2 – Sistema de ar condicionado central de água gelada

Fonte: França, F. – Controle Térmico de Ambientes – DE – FEM Unicamp.

Fazem parte do sistema de climatização ambiental dessa loja os seguintes equipamentos, que apresentam os seguintes consumos de energia, sendo que 1 TR = 3,517 kWh = 12.000 BTU:

- **Chiller** : 2 de 175 TR + 1 de 300TR = 650 x 3,15 kW = 2.047,5 kWh
- **Fancoils**: 32 de 10 CV (0,735 kW) = 23,52 kWh;
- **Torre de Resfriamento**: 2 de 30 CV (0,735 kW) = 44,1 kWh
- **Tanque de Água Gelada**: 1.200 m^3 mantida a 6^oC

Figura 5.3.3 – Tanque de água gelada e torres de resfriamento

O sistema de resfriamento e armazenamento de água gelada de recirculação ocorre durante o período da madrugada (período em que as tarifas energéticas são mais atraentes), armazenando a água a uma temperatura de 6^oC no tanque de 1.200.000 litros (isolada termicamente).

Esse tipo de procedimento é justificado principalmente pela necessidade de melhoria de eficiência, que visa a minimizar custos operacionais, principalmente com relação à energia elétrica (com que são bastante significativos). E qualquer economia com insumos representa

receita à empresa e pode ser repassada indiretamente aos usuários, na forma de melhor ambiente, variedade, conforto e atendimento.

Na época da implantação da loja, a racionalização de energia elétrica não era preocupação do empreendedor, pois era barata e abundante, ao contrário de hoje. Antes, o país esbanjava energia, devido à entrada em operação de novas hidrelétricas, estimulando o consumo.

Importante salientar que, durante a existência do empreendimento, o sistema de climatização tem passado por um processo de *retrofit,* ou seja, uma readequação da rede de dutos (redução da área de atendimento), incorporação de novo equipamento de condicionamento de ar, com a interface IHM (painel de controle) incorporado no próprio *chillers* , figura 5.3.4 a figura 5.3.6, de onde se permite o monitoramento e o controle da temperatura do ar insuflado, assim como novo sistema do frio alimentar, que monitora os balcões frigoríficos e câmaras frias de alimentos congelados e resfriados.

Figura 5.3.4- Chiller (resfriador) de ar condicionado

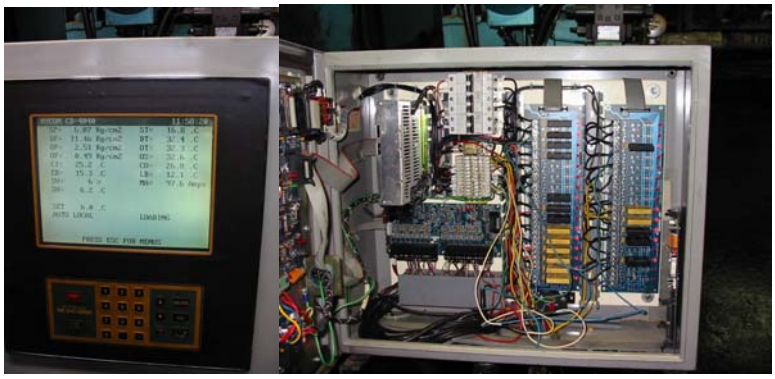


Figura 5.3.5- IHM- Interface Homem Máquina do Ar Condicionado

Figura 5.3.6 – Painel de CLPs – Sistema de ar condicionado central

Analisar-se-á também a importância da aplicação de dispositivos no gerenciamento e na supervisão remota, através de um computador, que possibilita um monitoramento *on line*, com uma visão geral do sistema, intervindo em determinados pontos dele, na melhoria do sistema de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado HVAC (*Heating, Ventilation and Ar Conditioning*), otimizando-se setores e/ou equipamentos durante um determinado período, conseguindo-se com isso um alivio do sistema de alimentação, uma vez que, atualmente, essa intervenção se faz manualmente.

Com relação ao sistema elétrico aplicado no período de sua implantação, em especial à iluminação e à refrigeração, estes são responsáveis por cerca de 70% da energia consumida de um estabelecimento comercial, conforme a figura 5.4.7 do PROCEL. Os equipamentos foram-se modernizando, ou seja, tornando-se mais eficientes através de novos mecanismos, novos tipos de compressores, assim como dispositivos que permitem uma melhor supervisão do sistema elétrico como um todo, cujo objetivo principal é a eficiência energética.

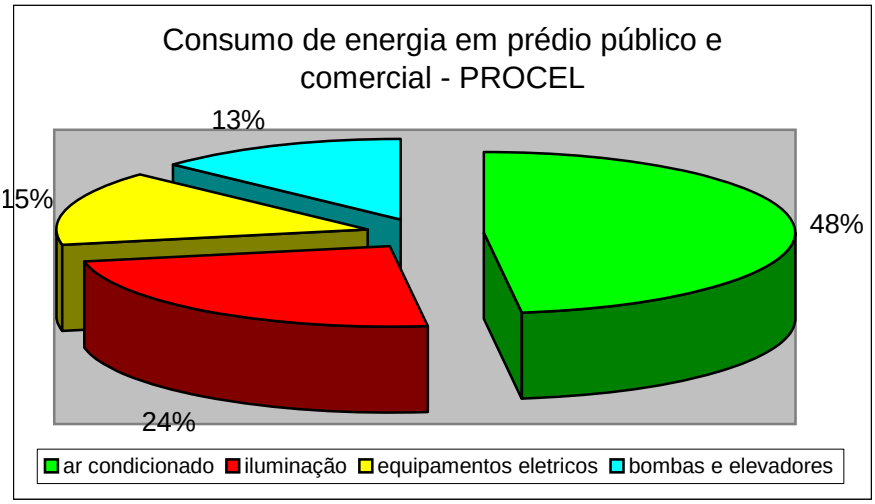


Figura 5.3.7 – Consumo médio de energia elétrica em prédio comercial

Fonte: PROCEL – 2004

Os dados registrados através pelo aparelho RMS 22 mostram um perfil um pouco diferente, figura 5.3.8, mas não menos evidente, que comprova grande consumo de energia, e a necessidade de um melhor monitoramento do sistema de ar condicionado central, pois envolvem motores nos compressores, no bombeamento, nos fancoils, na recirculação de água gelada, nos dumpers, torres de resfriamento, etc.

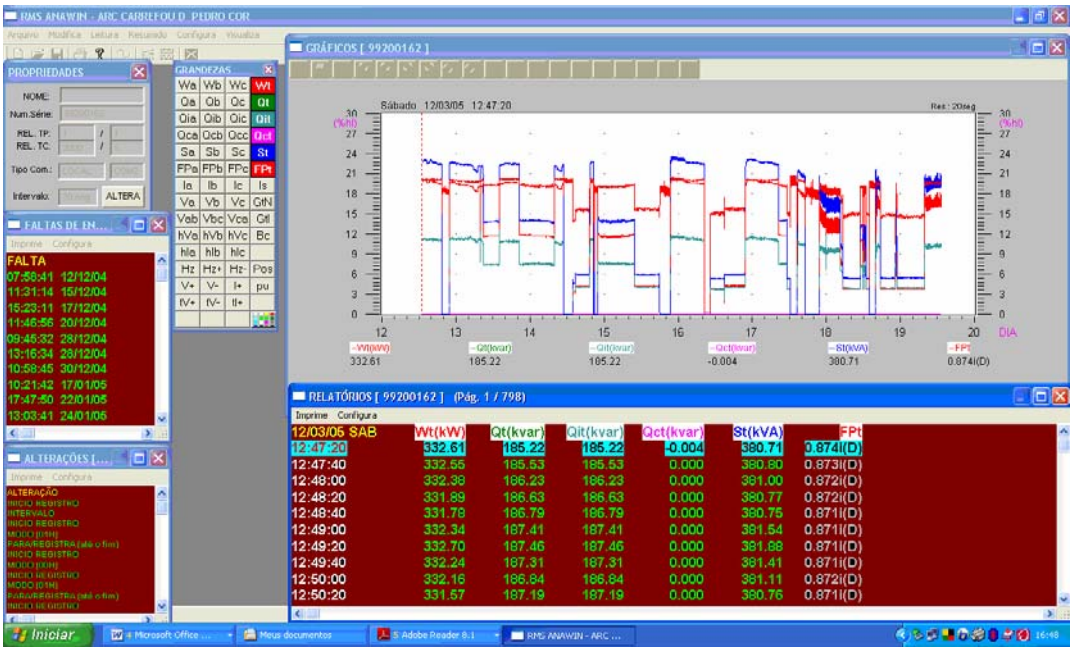


Figura 5.3.8- Diagnóstico do sistema de ar condicionado central

Tabela 8 – Registros de Demanda do Sistema de Ar Condicionado Central

RELATÓRIOS [99200162] (Pág. 384 / 798)

Imprime Configura

15/03/05 TER	Wt(kW)	Qt(kvar)	Qit(kvar)	Qct(kvar)	St(kVA)	FPt
21:40:40	334.11	191.14	191.14	0.000	384.91	0.868i(D)
21:41:00	337.72	193.27	193.27	0.000	389.11	0.868i(D)
21:41:20	331.08	190.41	190.41	0.000	381.93	0.867i(D)
21:41:40	334.58	191.42	191.42	0.000	385.47	0.868i(D)
21:42:00	337.56	192.97	192.97	0.000	388.82	0.868i(D)
21:42:20	331.30	190.17	190.17	0.000	382.00	0.867i(D)
21:42:40	335.55	191.84	191.84	0.000	386.52	0.868i(D)
21:43:00	337.94	192.90	192.90	0.000	389.12	0.868i(D)
21:43:20	331.66	190.24	190.24	0.000	382.35	0.867i(D)
21:43:40	336.23	192.55	192.55	0.000	387.46	0.868i(D)
21:44:00	337.82	192.91	192.91	0.000	389.02	0.868i(D)
21:44:20	331.69	190.61	190.61	0.000	382.56	0.867i(D)
21:44:40	337.82	193.27	193.27	0.000	389.20	0.868i(D)
21:45:00	337.11	193.26	193.26	0.000	388.58	0.868i(D)
21:45:20	332.50	190.95	190.95	0.000	383.43	0.867i(D)
21:45:40	338.46	193.70	193.70	0.000	389.97	0.868i(D)
21:46:00	336.69	192.95	192.95	0.000	388.06	0.868i(D)
21:46:20	333.09	191.33	191.33	0.000	384.14	0.867i(D)
21:46:40	339.32	194.56	194.56	0.000	391.14	0.868i(D)
21:47:00	335.96	194.23	194.23	0.000	388.07	0.866i(D)
21:47:20	333.56	194.24	194.24	0.000	386.00	0.864i(D)
21:47:40	339.79	197.59	197.59	0.000	393.07	0.864i(D)
21:48:00	335.70	191.67	191.67	0.000	386.56	0.868i(D)
21:48:20	334.21	189.46	189.46	0.000	384.18	0.870i(D)
21:48:40	340.40	191.89	191.89	0.000	390.76	0.871i(D)
21:49:00	335.19	189.17	189.17	0.000	384.88	0.871i(D)
21:49:20	335.12	188.54	188.54	0.000	384.51	0.872i(D)

De acordo como diagnostico apresentada pela figura 5.3.8 acima, demonstra o grande consumo do sistema (393,07 kVA) confirmando cerca de 50%, pois a média de demanda de energia observada durante o período de coleta nesta loja foi de 750 kVA, não observada na tabela 5.3.1 acima, apresentado apenas por cerca de 10 minutos, porque os dados são coletados de 20 em 20 segundos.

Pode se observar também que em determinados períodos de funcionamento da loja, não se registrou o consumo de energia do sistema, devido ao desligamento intencional efetuado por um funcionário da manutenção, com a pretensão de se economizar energia, mas isso demanda certo tempo de execução, entre a percepção e a operação.

Esse procedimento geralmente ocorre em período quando, o sistema de ar condicionado é bastante solicitado, geralmente no verão, quando as temperaturas externas estão bem elevadas, ou mesmo em outras estações do ano quando ocorrem altas temperaturas.

Esse processo pode ser otimizado com a implantação de determinados dispositivos de automação estrategicamente instalados no sistema de ar condicionado central, que certamente eliminaria esse serviço.

5.4 – Sistema de Iluminação artificial

Com relação ao sistema de iluminação artificial, encontrado atualmente consiste na iluminação com 850 calhas e lâmpadas fluorescentes HO (2x110W), conforme o pessoal de manutenção, com reator de partida rápida convencional (cuja substituição por reatores eletrônicos não fora bem sucedida, devido à queima constante desses e ao aumento da freqüência com que trocadas as lâmpadas) problema este que, com o retorno dos reatores convencionais, tem diminuído como mostra a figura 5.4.1, abaixo).

O aproveitamento da iluminação natural é insignificativo, devido à sua grande dimensão, onde a istalação de iluminação zenital implicaria na adição de grande carga térmica, através da radiação solar, a qual implicaria na incorporação de equipamentos mais potentes de condicionamento ambiental e em perda no rendimento desses equipamentos, tornando o sistema elétrico menos eficiente, do ponto de vista operacional.

Figura 5.4.1– Iluminação artificial calha com lâmpadas fluorescentes

Nesse sistema já existe incorporado um outro, de supervisão, onde setorizada a iluminação, figura 5.4.2, que permite um gerenciamento e controle por meio de computador como mostra a figura 5.4.3, com visão geral da iluminação de toda a loja e permitindo intervenções programadas ou intencionais em determinado setor ou departamento.

Figura 5.4.2 – Quadro de dispositivos de controle e supervisão de iluminação

Figura 5.4.3 – Painel de Supervisão no Monitor do Computador

5.5 – Proposta de automação

O objetivo desse estudo é apresentar uma proposta que possa ser viabilizada nesse tipo de construção, onde apresenta um sistema de condicionamento ambiental “antigo” com equipamento pouco eficiente, e responsável por grande parte do consumo de energia elétrica do empreendimento. Que com a incorporação de certos dispositivos de automação, em determinados pontos e equipamentos do sistema, possa dar uma sobrevida ao equipamento, melhorando sua eficiência, sem a necessidade de substituição e grande investimento, otimizando o consumo de energia.

A maioria dos sistemas de automação são compostos por controladores e atuadores, onde na maioria lêem sinais dos sensores e controlam o acionamento dos atuadores, e nesse equipamento já existe incorporado um sistema de monitoramento, através da interface IHM de cada aparelho.

Para a interface com o usuário geralmente são usados os sistemas de supervisão (SCADA: *Supervisory Control & Data Acquisition Systems*) os quais são compostos por telas que possibilitam ao operador interagir com o sistema ligando e desligando equipamentos ou até mesmo ajustando.

Nesse estudo, utilizar-se-á de um protótipo especialmente concebido para esse objetivo, constituído dos seguintes instrumentos (sensor e atuador):

- Um CLP (Controlador Lógico Programável) da HI Tecnologia (de fabricação nacional);
- Um inversor de freqüência CFW 08 da WEG;
- Transformador de tensão em 24V do mesmo fabricante do CLP para alimentação;
- Um motor trifásico de ½ CV, simulando os motores envolvidos no sistema (fancoils, bombas de recirculação, de água gelada, compressores, *chillers*, torres de resfriamento);
- Uma termorresistência;

- Transdutor responsável pela conversão de sinal térmico em elétrico;
- Uma caixa de isopor com divisão interna; e
- Um instrumento de medição (multímetro digital Minipa ET-2076 com saída RS 232 de comunicação com PC), onde se fará a coleta de dados do protótipo, conforme a figura 5.5.1.

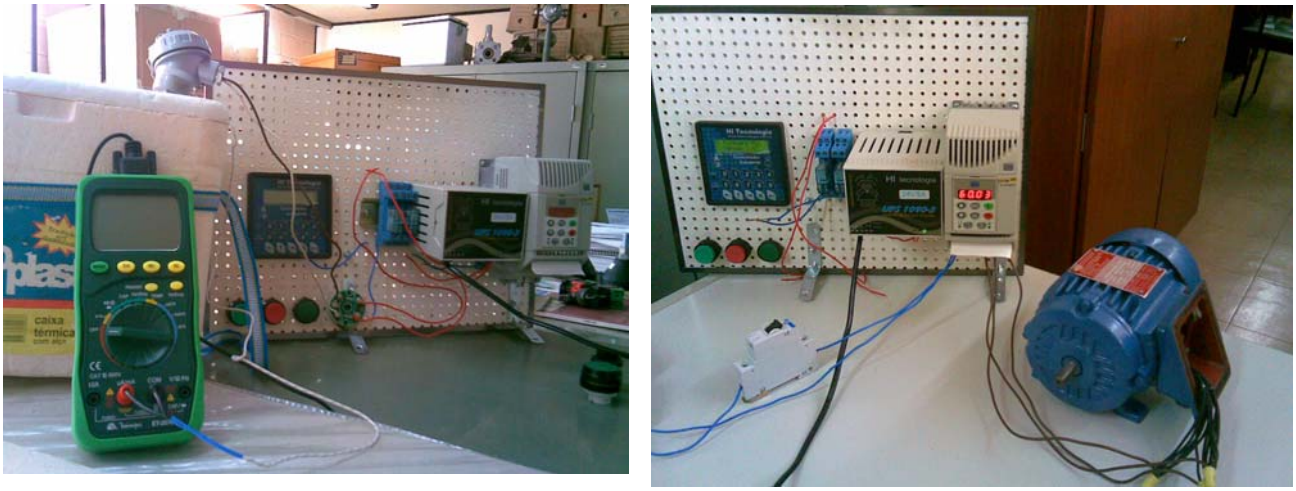


Figura 5.5.1- Protótipo com CLP com IHM, conversor 24V, relês, inversor de freqüência, motor trifásico ½ CV, multímetro digital, termopar e caixa de isopor.

5.5.1– Controlador Lógico Programável ZAP500 com módulo de expansão 400

O ZAP 500 foi desenvolvido para atender aplicações de controle de processos e sequenciamento de máquinas. Pode possuir até 28 pontos de I/O (entradas e saídas) na sua configuração completa e oferece toda a versatilidade dos demais controladores do fabricante. Ele é formado por um modulo básico de 10 pontos de I/O digital, um módulo de Interface Homem-Máquina, com teclado e diplay (opcional) e um módulo de expansão (opcional) com mais 18 pontos de I/O; conforme a figura 5.5.1.1, abaixo.

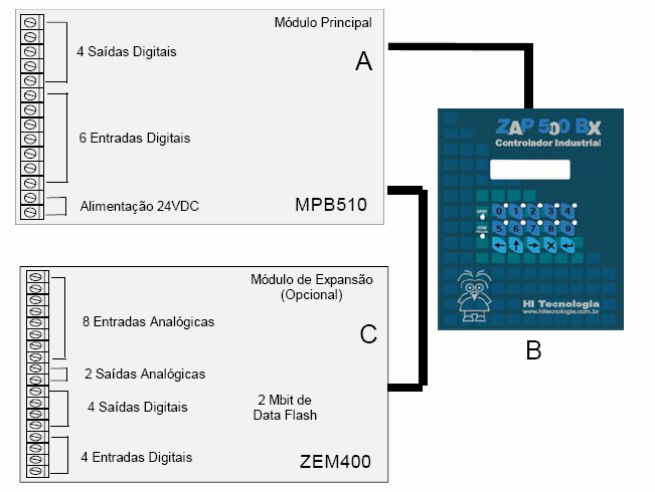


Figura 5.5.1.1 – Configuração do controlador ZAP 500-BX

Esse controlador foi desenvolvido para ser alocado em caixa de 200x150x80mm. Neste caso, possui a seguinte configuração:

- Painel frontal com 15 teclas, sendo 10 de função programável, com leds associados e 2 leds para supervisão do estado do controlador, e canal de comunicação serial; display LCD alfanumérico de 2 linhas x 16 colunas, com "*back light*";
- Capacidade máxima: 28 I/O (10 entradas digitais + 8 saídas digitais + 8 entradas analógicas + 2 saídas analógicas). Configurável para outros módulos;
- 2 Mbits de Data flash opcional.

Em termos funcionais, o hardware possui:

- Relógio de tempo real com calendário opcional (tempo de retenção típico se alimentação de 5 anos);
- Supervisão de hardware via Watch Dog Timer;
- Memória de programa tipo Flash ROM com 128 Kbytes;
- Memória de dados tipo RAM estática com 32 Kbytes;
- Memória de dados retentiva tipo NVRAM opcional, com 8 Kbytes (duração de 10 anos);

- Memória de dados tipo DATA FLASH opcional com 2 Mbits;
- Banco de dados de 16 Kbytes de flash rom para gravação de receitas de aplicação;
- Um canal de comunicação serial (COM1, conector DF fêmea), configurável para operar como RS232-C (incluindo linhas de controle de Modem), RS485 (operando em rede de controle);
- Um canal de comunicação serial (COM2, conector RJ12), opcional RS232-C;
- Tempo médio de execução de instruções lógicas, 1,08 µs/instrução;
- Interface Homem-Máquina local com teclado numérico de 15 teclas, incluindo teclas de função e leds programáveis;
- Display de LCD alfanumérico de 2 linhas x 16 colunas com back light;
- Comunicação remota via modem.

O CLP (Controlador Lógico Programável) utilizado é um ZAP 500-F400 (modulo de expansão com entradas e saídas analógicas e digitais), modelo industrial, de fabricação nacional, ainda pouco conhecido no mercado interno, mas com boa participação neste seguimento, atendendo inclusive a empresas de grande porte, como a Petrobras. Ele possui uma característica particular: sua linguagem de programação é em Português, o que facilita bastante sua programação e operação. Este equipamento possui um painel frontal de 15 teclas (figura 5.5.1.2), display alfanumérico e canal de comunicação serial RS 232–C, que permite a comunicação com equipamentos e computadores, e possui entradas e saídas, analógicas e digitais.

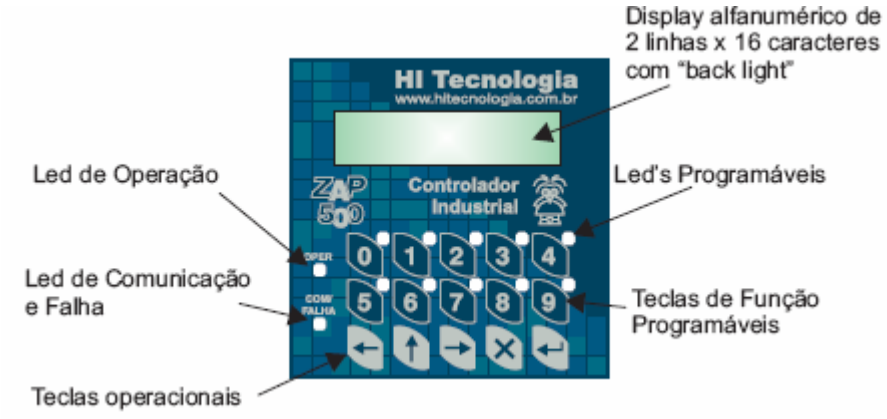


Figura 5.6.1.2– Painel frontal do CLP ZAP 500 e suas teclas

O painel traseiro do CLP ZAP500 com modulo de expansão ZEM400 é apresentado na figura 5.5.1.3 abaixo.

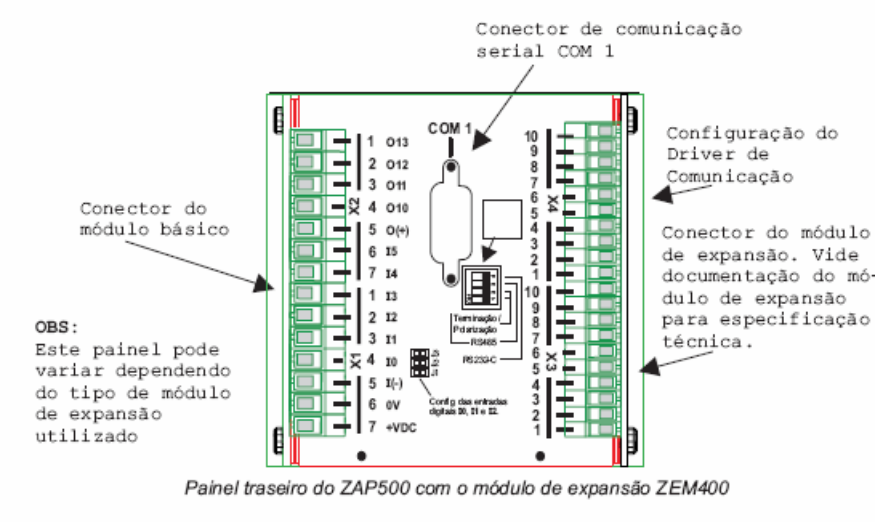


Figura 5.6.1.3– Portas de comunicação do painel traseiro do CLP**.**

Essas portas de comunicação permitem a ligação de sensores, como as termorresistências ligadas a um transdutor, que converte a temperatura em sinal elétrico de 4 a 20 mA, e envia esse sinal elétrico ao CLP, que, conforme a programação pré-estabelecida, envia um sinal de saída ao inversor, que altera a rotação do motor, com aplicação no controle de vazão de ar insuflado (*fancoils*), nos sistemas de ar condicionado central.

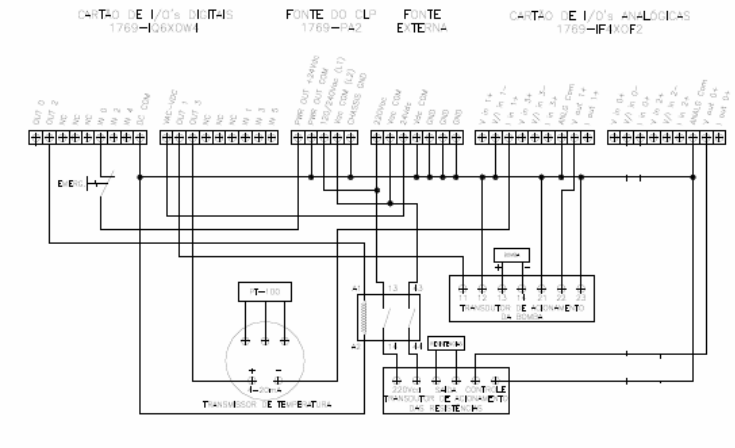


Figura 5.6.1.4 - Esquema de ligação da termoresistência

5.6.2 – Inversor de Freqüência CFW 08 –Weg

Os inversores de freqüência são dispositivos eletrônicos destinados ao controle e variação de velocidade dos motores de indução trifásicos, que geralmente compõem os equipamentos pertencentes ao sistema de ar condicionado central, e foram desenvolvidos recentemente, cerca de 15 anos, e se destacam pelo alto grau de compactação e funções especiais disponíveis, conforme figura 5.6.2.1.

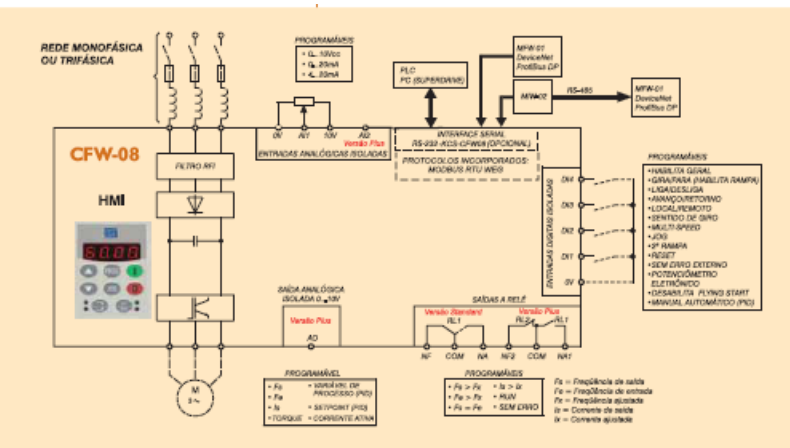


Figura 5.6.2.1 – Diagrama de inversor de freqüência CFW 08

São equipamentos de simples instalação e operação, e podem ser configurados conforme a necessidade de monitoramento do sistema, um para cada motor ou vários, e dispõe de recursos já otimizados por software, facilmente parametrizados através de interface homem-máquina, que habilita no controle de processos e máquinas industriais.

O controle da rotação dos motores se verifica através de um sinal enviado pela termoresistência ao CLP, que através de uma condição pré-estabelecida, envia um comando ao inversor aumentando ou diminuindo a velocidade dos motores do sistema (*fancoils*, bombas de recirculação, bombas de água gelada), permitindo-se com isso a eliminação dos *dampers* (venezianas de palhetas moveis).

Estes dispositivos localizam-se na entrada dos dutos de distribuição de ar refrigerado, que fecham ou abrem a passagem de ar, mas não interferem na rotação dos motores dos *fancoils* (ventiladores de ar refrigerado). Em regime de abertura máxima, permitem a passagem total de ar; já na situação inversa, obstruem a passagem desse mesmo ar, que certamente gera desperdício de energia.

Fazendo-se uma analogia com um automóvel, seria como se acelerasse e freiasse o veiculo ao mesmo instante, embora o objetivo fosse atingido de desacelerar, haveria o desperdício de combustível, provocando desgaste desnecessário de combustível, peças e componentes envolvidos na ação.

Figura 5.6.2.2 – *Fancoil* e *damper*

5.6.3 – Multímetro Digital Minipa ET-2976

Esse aparelho foi escolhido devido as suas características construtivas, por ser facilmente encontrado no mercado, e possuir software e porta de comunicação RS232 com o PC, o que permite uma visualização gráfico do processo, conforme mostra a figua 5.6.3.1.

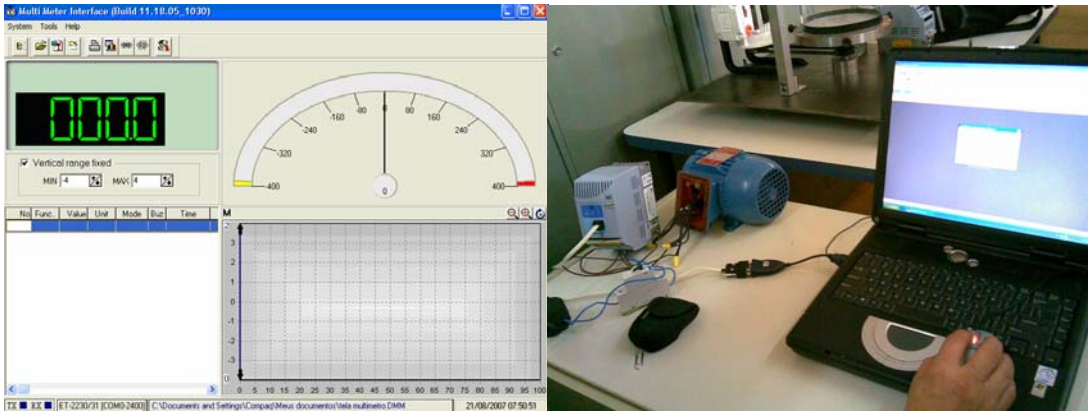


Figura 5.6.3.1 – Tela de gráfico do multímetro e PC

5.7 – Simulação através do protótipo

A simulação do protótipo consiste em colocar na caixa de isopor com divisão interna, numa parte com gelo simulando um ambiente frio, outra vazia simulando um ambiente quente, onde o termopar instalado em cada seção transmite duas situações de temperaturas diferentes, e uma terceira situação o termopar medindo a temperatura ambiente. Este por sua vez, envia um sinal de temperatura convertida em sinal elétrico pelo transdutor, ao CLP que com uma condição de programação pré-definida, emite um sinal ao inversor de freqüência que controla a velocidade do motor de protótipo.

Com isso, demonstra-se que conforme há variação da temperatura registrada, aumenta-se ou diminui-se a velocidade dos motores do sistema (recirculação, água gelada, *fancoil*, torre de resfriamento), assim como na situação inversa, com o decréscimo da temperatura reduz-se a velocidade dos motores, como podemos verificar no gráfico registrado abaixo da figura 5.7.1..

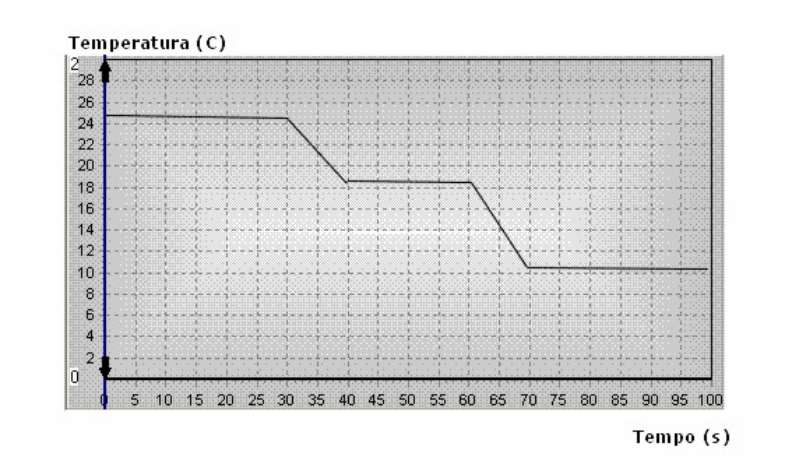


Figura 5.7.1 – Gráfico Temperatura X Tempo

Considerando o sistema de ar condicionado como um sistema produtivo, onde o produto final é o ar condicionado, pode-se adotar o modelo apresentado na figura 5.7.2, Miyagi (1996), apud Villani (2000), para aplicação e classificação das diversas partes do sistema de ar condicionado central.

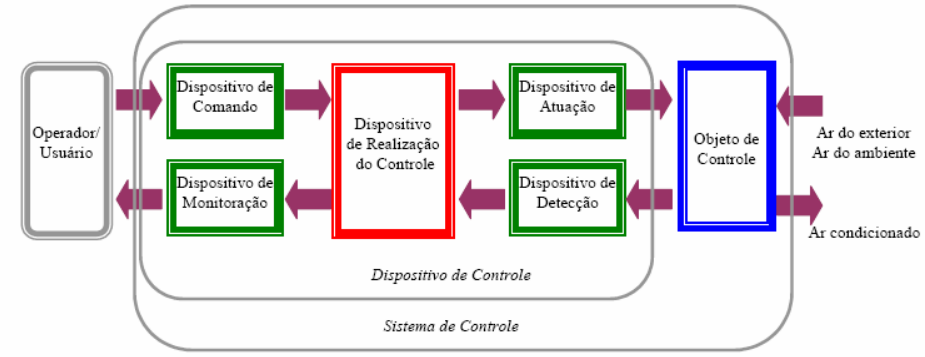


Figura 5.7.2 – Diagrama do sistema de controle

Fonte: Miyagi (1996) apud Villani (2000)

Os dispositivos de controle, propostos neste estudo, tem papel importante no sistema de água gelada, onde o CLP desempenha a função de controle, monitoramento e comando, o termopar como detector de temperatura, o inversor na variação de velocidade dos motores, que

devidamente instalados, podem minimizar o consumo de energia, onde no equipamento avaliado, possui 32 fancoils, bombas de água gelada, bombas de recirculação e torres de resfriamento, trabalhando em rotação constante.

Esses dispositivos podem ser incorporados no sistema existente, no monitoramento e controle de temperatura, atuando apenas no circuito de água gelada, como mostra a figura 5.7.3.

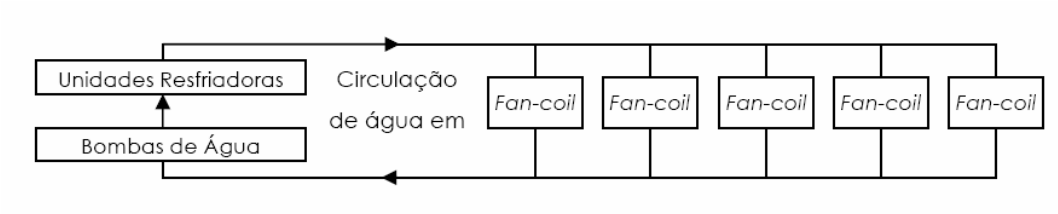


Figura 5.7.3 – Sistema de circulação de água gelada

Possibilitando a eliminação dos *dampers* (dispositivos eletro-mecânicos que controlam a vazão do ar) na entrada dos dutos, mas que não controlam a velocidade dos motores dos *fancoils*. Fazendo uma analogia com um automóvel, seria como se freiasse e acelerasse ao mesmo tempo, o que não estaria economizando combustível, como mostra a figura 5.7.4.

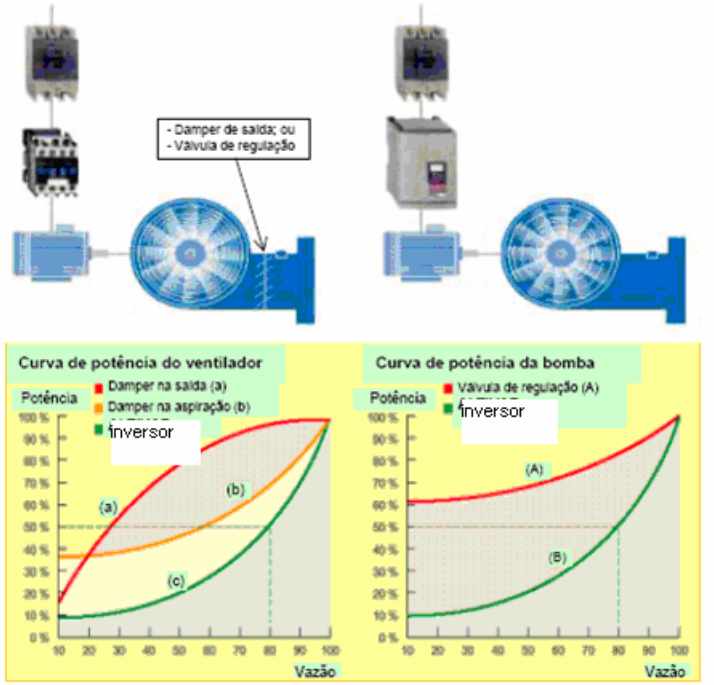


Figura 5.7.4 – Aplicação dos inversores em *fancoils*

Fonte : Telemecanique - Catalogo

Além de se eliminar mais um equipamento passível problema do sistema, pois todo equipamento requer manutenção, onde se aliviaria o regime de trabalho dos motores, que operam em regime de alta rotação, possibilitaria trabalhar com rotação variável, sem necessidade de partidas bruscas, dando uma sobrevida aos motores do sistema, e consequentemente menor manutenção e economia de energia elétrica.

Esse tipo de controle ocorre de forma automática por uma programação, que é realimentada conforme a variação de temperatura do ambiente condicionado, o que garante conforto aos usuários e consequentemente uma utilização racional do sistema.

6 – Resultados

A grande vantagem de utilização deste conjunto de dispositivos é que além de gerar economia de energia também reduz o custo de manutenção do sistema. Os inversores variam as velocidades dos motores conforme a necessidade de vazão ou temperatura do ar de cada região controlada. Ao diminuir a velocidade, os inversores proporcionam grande economia de energia. Tal efeito não ocorre com as válvulas tradicionais (*dumpers*) onde a vazão é reduzida, porém, o motor continua operando na mesma velocidade - pressionando o fluxo de ar sobre a entrada da válvula, absorvendo a mesma potência.

Outra vantagem possibilidade é que esses dispositivos possibilitam que os motores sejam acionados suavemente, sem trancos. Com isso, reduz-se a quebra de elementos de transmissão como correntes e rodas dentadas, ocorrências freqüentes em virtude do esforço adicional provocado pelos motores com partida direta.

De forma geral o desempenho do sistema melhora e o consumo de energia é reduzido significativamente porque os ventiladores e bombas solicitam do conjugado do motor proporcional ao quadrado da velocidade.

Um exemplo da aplicação desse dispositivo é a economia proporcionada por um motor de 10 CV (1 CV = 736 W) de um *fancoil* do sistema de ar condicionado central dessa construção, que opera cerca de 10 h/dia (período de funcionamento da loja - 8:00 às 22:00) durante 30 dias, no verão brasileiro, onde a demanda contratada é de R$ 0,10/kWh, mas que pode subir até R$ 0,80 se ultrapassar no período de ponta:

- A plena carga: 10 CV x 1 (100%) x 0,736 kW x 10 h x 30 dias x R$ 0,10 = R$ 220,80/mês;
- Com inversor controlando a velocidade de 25% do tempo em plena carga, com 50% a 80% da velocidade e 25% a 60% de velocidade:

10 CV x 1 (100%) x 0,736 kW x 2,5 h (25%) x 30 dias x R$ 0,10 = R$ 55,20/mês

10 CV x 0,8 (80%)x 0,736kW x 5,0 h (50%) x 30 dias x R$ 0,10 = R$ 88,20/mês
10 CV x 0,6 (60%)x 0,736kW x 2,5 h (25%) x 30 dias x R$ 0,10 = R$ 33,12/mês

Total = R$ 176,52/mês

Diferença = R$ 44,28/mês

Diferença em porcentagem = 20%

Portanto pode-se observar que a economia gerada em apenas um motor de 10 CV desse sistema de ar condicionado central (32 *fancoils*) é de R$ 44,28/mês por motor em 10 horas de operação durante um dia, resultando em uma economia de R$ 1.416,96/mês apenas com os motores dos *fancoils* desse sistema, mais dois motores de 30 CV das torres de resfriamento R$ 256,68 /mês, totalizando uma economia de R$ 1682,64/mês.

Analogamente transferindo para todo o sistema de ar condicionado do estabelecimento, em que a média total considerada é de 600.000 kWh/mês da loja, nos meses com o ar condicionado funcionando é de 750.000 kWh/mês, e de 450.000 kWh/mês nos meses em que o sistema fica desligado, segundo informações da administração, o que representa um acréscimo de 60% de aumento da demanda de energia.

Com isso pode-se afirmar que com a aplicação desses dispositivos no sistema, teria uma economia de energia elétrica em torno de 20% de 300.000 kWh/mês, aproximadamente R$ 6.000,00/mês (60.000 kWh/mês), nos meses em que se utilizam do sistema de condicionamento de ar ambiental.

Considerando-se que o período de utilização do sistema de ar condicionado esteja restrito apenas no período de verão (3 meses), então resultaria numa economia de R$ 6.000,00 x 3 = R$ 18.000,00/ano, sem contar os recursos humanos disponibilizado para esse fim, e que o sistema pode ser solicitado em outros períodos do ano, devido as grandes variações climáticas ocorridas nos últimos anos.

Analogamente, considerando-se que de um total de 100 lojas do grupo, onde 30% a 40% ainda estejam nas mesmas condições, sistema de ar condicionado central operando com baixa eficiência, teríamos uma economia de R$ 18.000,00 x 3 (4) = R$ 54.000,00/ano a R$ 72.000,00/ano, portanto uma economia bastante significativa.

Essa estimativa foi considerada apenas na demanda contratada no horário fora de ponta que foi de R$ 0,10/kWh, mas se considerar que durante os períodos de grande movimento como no Natal, Ano Novo, Férias Escolares de final e inicio de ano, e Carnaval, onde a população costuma freqüentar essas lojas durante a noite, a economia pode ser bem maior, já que a tarifa passa a R$ 0,80/kWh quando ultrapassa a demanda contratada.

Se considerarmos que em apenas 10% do tempo de funcionamento do sistema de condicionamento ambiental ultrapassar essa demanda, o resultado seria de 6.000 kWh x R$ 0,80/kWh = R$ 4.800,00/mês, passando de R$ 6.000,00/mês para R$ 10.800,00/mês, o que justifica o desligamento manual atualmente existente no sistema.

7- Conclusão

Esse estudo veio demonstrar que esses aparelhos de automação, atualmente existente no mercado, permitem executar *retrofits* em sistemas de climatização ambiental, principalmente em sistemas onde não foram previstos tais dispositivos, oferecendo uma sobrevida do sistema de ar condicionado central com determinado tempo de uso, porém sem a mesma eficiência dos equipamentos modernos, onde todos os equipamentos que integram o sistema são mais econômicos energeticamente.

Isso reverte em eficiência energética do sistema, onde com pequenas intervenções localizadas, pode representar em economia significativa, sem grandes investimentos, já que a troca de equipamentos antigos por mais modernos e eficientes necessitaria de grandes recursos financeiros, principalmente tratando-se de um sistema de ar condicionado central desse porte, 650 TR.

Pode-se concluir que, apesar existirem sistemas de ar condicionado central pouco ultrapassado e ineficiente, ainda sim é possível se aperfeiçoar esses sistemas com pequenas intervenções localizadas, onde esses dispositivos de automação trazem vantagens econômicas e operacionais, compensando o investimento, que é diluído rapidamente pela eficiência que esses dispositivos proporcionam.

Esse tipo de iniciativa deveria ser mais intensificada em todos os setores que se utilizam da energia elétrica, que é um bem precioso e que deve ser utilizado de forma mais racional, para que se possa usufruir por mais tempo, atendendo as necessidades da humanidade.

Cabe salientar que embora o país esteja numa situação atual tranqüila, quanto ao fornecimento de energia, se considerar o índice de crescimento do país projetado pelo governo atual de 4,5% a.a, essa previsão está cada vez mais comprometida, devido a dificuldade encontrada no atendimento dessa crescente demanda de energia elétrica, devido ao baixo investimento no setor de geração e infra-estrutura, onde o país corre o risco de novo racionamento de energia.

Porém os órgãos governamentais, preocupados com a situação estão viabilizando o aumento dessa oferta, apresentada por Rondeau (2005) MME, através do Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica – PDEE 2006 – 2015, onde o cenário apresentado é um aumento de 41.800 MW de capacidade a ser instalada em 10 anos, e 41.300 km de linha de transmissão, com investimentos de US$ 56 bilhões.

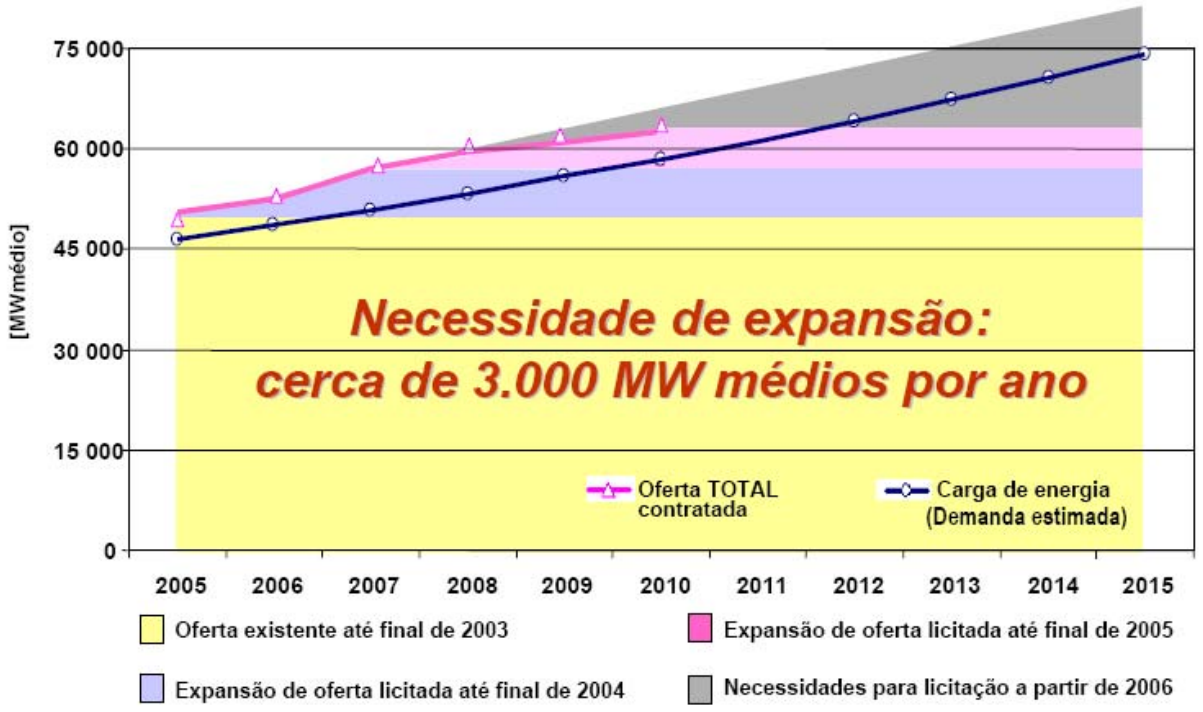


Figura 7.1 – Expansão da oferta de energia elétrica no Brasil
Fonte: Rondeau (2005) apud ANEEL – MME

Uma forma de reprimir essa demanda de energia elétrica, muito utilizada no mundo é a elevação de tarifas, que no Brasil é considerada bastante alta para os padrões, onde se paga em torno de R$ 125,00/ano para se manter uma geladeira ligada e na Inglaterra R$ 104,00/ano, e no México R$ 66,00/ano, com mostra a figura 7.2, apresentada pela Revista Veja.

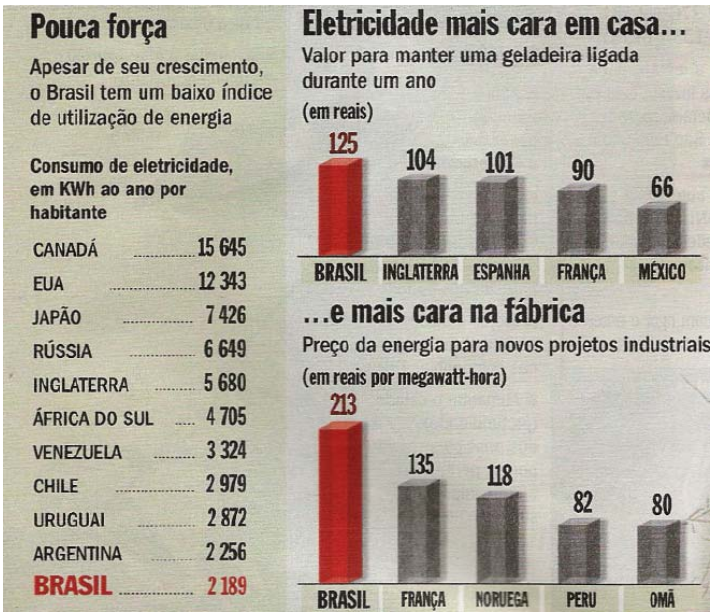


Figura 7.2 – Custo da energia elétrica

Fonte: Revista Veja nº 31, ano 40, pg 92

Uma sugestão para um novo trabalho, seria de se estender a aplicação desses e outros dispositivos de automação em outros sistemas prediais, e integrar num único sistema central, de onde se permita monitorar e gerenciar toda loja, e interligando toda rede em grupos corporativos.

8 - Bibliografia

- AGERWALA, T. "**A Complete Model for Representing the Coordination of Asynchronous Process**"; Hopkins Computer Research Report Number 32, Computer Science Program, Johns Hopkins University, Baltimore, Maryland; July 1974;

- ALVES FILHO, M., S.; CUGNASCA, C.,E. **Tecnologia Lonworks nos Produtos para Automação Predial e Sistemas de Gerenciamento de Edifícios Inteligentes**, CD ROM dos Anais do Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção Civil, 2005, São Paulo – SP;

- ANTSAKLIS, P. J. & NEROD, A. **"Hybrid Control Systems: An Introductory Discussion to the Special Issue"** IEEE Transactions on Automatic Control, vol 43, n.4 pp 457-459, 1998;

- ARAKAKI, J. at al **Integração de atividades e serviços em Edifícios Inteligentes – Aplicação da Metodologia PSP/MFP**, HABITAR 2002, São Paulo;

- ARKIN, H. & PACIUK, M. Service system Integration in Intelligent Buildings, **Proceedings of IB/IC Intelligent Building Congress,** Tel-Aviv, 1995;

- ARKIN, H. "**Introduction of special issue of intelligent buildings**", In: Automation in Construction, vol 6 n.5, pp 379-381;

- BARCELLOS, F., P. **"Sistema Didático para Controle de Nível e Temperatura".** Pelotas RS, 2005. Monografia (Conclusão de Curso). Gerência de Ensino Superior, Curso de Automação Industrial, Centro Federal de Educação Tecnológica de Pelotas RS;

- CASTRO NETO, J., S. **Edifícios de Alta Tecnologia** . São Paulo: Cartago & Forte, 1994, 174 p;

- **Conceitos de Mercado Livre**- Engecomp – www.engecomp.com.br –acessado 12/07/2005;

- COSTA, E., C. **Refrigeração** . São Paulo: Edgard Blucher, 3ª Ed., 6ª reimpressão 2002;

- CRESTANA, S. "**Matéria Prima para Produção de Biodiesel: Priorizando Alternativas**", Embrapa- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, São Paulo, agosto 2005 – www.embrapa.com.br;

- DEMARCO, T. **Structured Analysis and Systems Specification**, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1979.

- DEMONGODIM, I. & KOUSSOULAS, N. T. "**Differential Petri Nets: Representing Continuous Systems in a Discret-Event World**". IEEE Transactions on Automatic Control, vol. 43, n. 4, pp 573-579,1998.;

- DENIS, B. & MEUNIER, P. **Validation du Comportement Dynamique des Architectures de Conduite de Systèmes de Production par Simulation, Modélisation et Simulation des Systèmes de Production et de Logistique**, Junho 5-6, Rouen, França, pp. 229-238, 1997; .

- **Empacotando Sistemas Prediais** , 2001 - Volume 3 – Ed. Pini;

- FANGER. P.O. **"Conditions for Thermal Comfort – A Review",** In: Proceedings of CIB Comission W 45 Symposium, s 1,.1972;

- FINLEY, M.,R. & KAMAE T. "**Current Trends in Intelligent Buildings: From Materials to Media"**, In: Communications Magazine, pp 18-21, vol.31 n.10;

- FINLEY, M.,R. & KAMAE, T. **"Current Trends in Intelligent Buildings: From Materials to Media"**, In: Communications Magazine, 1993, pp 18-21, vol. 31 n. 10;

- FISCHER, N. **"Escritório de padrão internacional"**, Revista Téchne nº 55, outubro 2001, pg. 32-36;

- FROTA, A., B. & SCHIFFER, S.,R. "**Manual de Conforto Térmico**", Ed. Studio Nobel, 4ª ed, São Paulo, 1998;

- FUGIE,S. & MIKAMI, Y. **"Construction Aspects of Intelligent Buildings"**; In: IEEE Communications Magazine, pp 50-57, vol.29, n.4;

- GANE, C. & SARSON, T. , **Structured Systems Analysis**, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.1979;

- GOMAZAKO, M., S. **Estudo Comparativo-Técnico Econômico entre Gás Combustível e Energia Elétrica no Aquecimento de Água Residencial.** Campinas, 2002. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas-UNICAMP.

- GONSALVES, O., M. **Evolução e Tendências dos Sistemas Prediais**, CD ROM dos *Anais do IX Simpósio Nacional de Sistemas Prediais, 2005, Goiânia-GO;*

- GUANDALINI, G. 2007, Reportagem Especial **"Infra-estrutura é preciso vencer essa guerra"** , Revista Veja, ed. 2020, ano 40, nº 31, 8 de agosto de 2007, pg 92 e 93;

- GUSTIN, G., D., B. **Aplicação de Redes Petri Interpretadas na Modelagem de Sistemas de Elevadores em Edifícios Inteligentes**, São Paulo, 1999. Dissertação (Mestrado), Escola Politécnica Universidade de São Paulo;

- HI TECNOLOGIA 2006- **Manual Técnico do Controlador Industrial ZAP 500 ZEN 400**;

- HINRICHS, R., A.; KLEININBAC, M. – **Energy and Enviroment**- Ed. Thomsom, São Paulo, 3ª Ed., 2003- 543p;

- HO, Y., C. **“Basic research manufacturing automation, and putting trhe cart before the horse”**. IEEE Transactions on Automatic Control, 1987,vol. AC-32, n. 12 pp.1042-1043;

- HO, Y.,C **“Discret Event Dynamic Systems. Analyzing Complexity and Performance in the Modern Wold”**. IEEE Control Systems Sociey, Sponsor New York, 1991;

- HUBER, P.; JENSEN, K & SHAPIRO, R., M. ; **"Hierarchies in Coloured Petri Nets**"; incluído em G. Rozenberg (ed.); Advances in Petri Nets 1990; Lecture Notes in Computer Science, vol. 483, Springer, 1990, pp. 313-341;

- HUBER, P.; JENSEN, K. & SHAPIRO, R.M. **"High-level Petri Nets - Theory and Application"**; K. Jensen, G. Rozenberg (Eds.); Springer-Verlag; 1991; pp. 215-243;

- JENSEN, K. & ROSENBERG,G. **"High-level Petri Nets - Theory and Application";** Springer-Verlag; 1991

- JENSEN, K. **“Coloured Petri Nets, em Petri Nets: central models and their properties**, Lecture Notes in Computer Science, 254, Springer-Verlag, Berlin, pp. 248-299, 1987.

- Laboratório de Engenharia Elétrica, **Curso de CLP**, Universidade Estadual do Rio de Janeiro UERJ, 2000;

- LEAL,U. 2002 **“Conexões inteligentes”**, Revista Téchne n^{o} 60, março 2002, pg. 36-42;

- LOCK, R. **The New Electricity Model in Brazil: Na Instutional Framework in Transition,** 2005, Elsevier The Electricity Journal, p 52-61 ;

- MACIEL, P. R. *at al* **Introdução às Redes de Petri e Aplicações**, Instituto de Computação – UNICAMP, Campinas, 1996;

- MAEDA, S. **Intelligent Buildings: a key solution for the 21st century office**. Doctor of Engineering Thesis, Civil Engineering Department, Stanford University, Stanford, 1993;

- MARIOTONI, C., A.; ANDRADE Jr.,E., P., A. **Descrição de Sistemas de Automação Predial Baseados em Protocolos PLC Utilizados em Edificios de Pequeno Porte**, Habitar – 2002, São Paulo;

- MARTE, C., L. **Automação Predial – A Inteligência Distribuída nas Edificações**. São Paulo: Cartago & Forte, 1995, 120p.

- MIYAGI, P., E;"**Control System design, Programming and Implementation for Discrete Event Production Systems by Using Mark FLOW Graph"**, Doctoral Thesis, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, 1988;

- MOREIRA, K. B. R.; ONO, R. - **Avaliação de métodos de planejamento de sistemas prediais de segurança física e patrimonial** - CD ROM dos *Anais do IX Simpósio Nacional de Sistemas Prediais, 2005, Goiânia-GO;*

- MURATA, T.& ZHANG, D**. "A predicate-transition net model for parallel interpretation of logic programs"**; IEEE Transactions on Software Eng., vol. 14, nº 4, Abril 1988, pp. 481-497;

- PETERSON, J. L. "**Petri Net Theory and the Modeling of Systems**"; Prentice-Hall, Inc.; 1981

- PETERSON, J., L. **"Petri Nets**"; Computing Surveys, Volume 9, Number 3; September 1977; pp 223-252;

- PETRI, C., A. "**Kommunikation mit Automaten**"; Schriften des Institutes für Instrumentelle Mathematik; Bonn 1962

- PRADO, R., T., A. **Sistemas prediais e o ambiente:estimativas de consumos de água, energia e degradação ambiental**, CD ROM dos *Anais do IX Simpósio Nacional de Sistemas Prediais, 2005, Goiânia-GO;*

- RADAMAGE, P., J.& WONHAM, W., M. "**The Control of Discrete Event Systems"**. Proceedings of the IEEE, v. 77, n. 1, 1989;

- REISIG, W. **"Petri Nets - An Introduction";** Springer-Verlag; 1982;

- RONDEAU, S. **"Política Nacional de Minas e Energia**" Escola Superior de Guerra, Ministério de Minas e Energia, Rio de Janeiro, julho 2005, www.mme.gov.br;

- REVISTA Veja Especial "**Crime - As raizes, a Impunidade, as Soluções"**, ed 1990, ano 40 n^{o} 1, 10 de janeiro de 2007, pg 57-61;

- SARAMAGO, M., A., P. **Integração de Dispositivos Inteligentes Utilizando Conceitos de Domótica Direcionados a Automação Hospitalar**. Campinas, 2002. Tese (Doutorado). Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP;

- Secretaria de Energia, Recursos Hídricos e Saneamento, Governo do Estado de São Paulo, **Boletim Informativo, 2004**, www.cspe.sp.gov.br ,acessado 20/02/2005;

- SIMÕES, C. **As ações da Abrava no Cenário de Eficiência Energética** – ABRAVA, 2002, www.abrava.com.br, acessado 23/01/2004

- SOUSA, M., A., B. **Estudo Comparativo entre Aplicação de Sistemas Dedicados e a Utilização de Controladores Lógico-Prigramáveis na Automação de Sistemas Prediais**. São Paulo, 2004. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica , Universidade de São Paulo;

- TEIVE, R., C., G. at al **Conservação de Energia Elétrica em Edificações – Uma Abordagem Utilizando Controladores Lógicos Programáveis,** Anais Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Campinas, 2001.;

- VENÂNCIO, J., M., F, **A Contribuição da Automação para o Mercado Residencial Brasileiro do Gás Combustível.** São Paulo, 2002. Dissertação (Mestrado). Instituto de Eletrotécnica e Energia, Universidade de São Paulo;

- VICHI, F., M. & MELLO "**A Questão Energética no Brasil**", cap. 19, Energia e Meio Ambiente, ed. Thoson, 2003, pg.479-5002;

- VILLANI, E. "**Abordagem Híbrida para Modelagem de Sistemas de Ar Condicionado em Edifícios Inteligentes"** São Paulo, 2000. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Mecânica da EPUSP, Universidade de São Paulo;

- WEG 2003- **Manual do Inversor de Freqüência, Série CFW-08**;

- YOURDON, E. **Moder structured analysis**, Yourdon Press, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1989;.

- ZURAWSKI, R. & ZHOU, M. **"Petri nets and industrial applications"**; a tutorial. IEEE transactions on Industrial Electronics, v.41, n.6, pp. 567-583, December, 1994.;

Anexo

1 – Mercado Livre de Energia

Como esse estabelecimento comercial está enquadrado como consumidor livre, tem que se apresentar uma noção do que seja esse mercado. A tarifa residencial de energia no Brasil é uma das maiores do mundo (não dá essa prerrogativa de escolha). Ela embute um subsídio para a tarifa industrial, que por essa razão é bem mais baixa que a residencial. No setor elétrico, esse subsídio é chamado de "subsídio cruzado".

Há alguns anos, o governo vem trabalhando fortemente para extinção do “subsídio cruzado”. Com a redução gradativa deste subsídio (até sua eliminação), o aumento tarifário do consumidor conectado em alta tensão (grupo A) tem sido muito superior ao aumento impetrado ao consumidor residencial, preservando a tarifa do pequeno consumidor (cidadão) em detrimento da tarifa do grande consumidor (empresa).

Esta nova realidade está acelerando o processo de migração dos grandes consumidores para o mercado livre de energia elétrica, onde estes poderão exercer o seu “livre arbítrio” e negociar livremente seus contratos de energia diretamente junto a outros agentes do setor (geradores e comercializadores), dentro dos temos e condições (preço, prazo e flexibilidade) que melhor lhes convier, cabendo ao governo estipular as tarifas de transporte (“fio”) suficientes para garantir a remuneração dos ativos das distribuidoras e permitir o investimento contínuo na ampliação da capacidade do sistema elétrico.

Considerando que os consumidores livres conseguem obter uma redução de 15% a 25% em seu custo de energia em função da atual sobra contratual de energia disponível no mercado, torna-se uma necessidade a análise dos benefícios e riscos de uma eventual migração para o mercado livre.

1.1 –Clientes Livres

Os chamados "Clientes Livres" são os consumidores de energia que podem não apenas escolher sua empresa fornecedora de energia, como também gerenciar suas necessidades da maneira que lhes parecer melhor, levando em conta vantagens em preços, produtos e serviços. Os consumidores que não optam por se tornarem "clientes livres", são chamados de "clientes cativos".

Qualquer consumidor com demanda contratada igual ou superior a 500 kW, em qualquer segmento horosazonal pode optar por ser um cliente livre. No entanto, podem comprar energia de qualquer fornecedor apenas os consumidores com demanda igual ou superior a 3 MW, e atendidos em tensão igual ou superior a 69 kV. No caso de consumidores ligados após 08 de julho de 1995 (os chamados "clientes novos"), não existe a restrição da tensão de atendimento. Ou seja: basta que tenham demanda igual ou superior a 3 MW para poderem comprar energia de qualquer fornecedor.

Os consumidores que não se enquadram nas restrições acima, podem comprar energia apenas de titular de autorização ou concessão de aproveitamento hidráulico com características de pequena central hidrelétrica (PCH) ou fonte alternativa (fonte eólica, biomassa ou solar). No jargão do mercado, esses consumidores podem apenas comprar energia de "fontes alternativas".

Além dos consumidores previstos acima, o governo dá sinais claros de que os limites necessários para que o consumidor possa participar do Mercado Livre de Energia será ampliado a médio prazo.

1.2–A Comercialização de Energia

Toda comercialização de energia é realizada através de contratos bilaterais firmados entre o consumidor livre e um agente comercializador ou gerador. A liquidação destes contratos ocorreram no ambiente da **CCEE - Câmara de Comercialização de Energia Elétrica** – , organização que a partir da Lei 10.848/04, do Decreto nº 5.177/2004 e da Convenção de Comercialização instituída pela **Resolução Normativa ANEEL nº 109/2004**, sucede ao **Mercado Atacadista de Energia Elétrica – MAE**.

É uma organização civil, de direito privado, sem fins lucrativos, que congrega agentes de geração, distribuição e comercialização de energia elétrica. A entidade tem por finalidade viabilizar a comercialização de energia elétrica no **Sistema Interligado Nacional**, nos ambiente regulados e livre, além da contabilização e da liquidação financeira das operações realizadas no mercado de curto prazo, as quais são auditadas externamente, nos termos da Convenção de Comercialização.

As regras e os procedimentos de comercialização que regulam as atividades realizadas na **CCEE** são determinados pela **ANEEL**.

Os agentes da CCEE são divididos em três categorias:

- **Geração**: composta pelas classes de agentes geradores concessionários de serviço público, agentes produtores independentes e agentes autoprodutores.
- **Distribuição**: composta pela classe dos agentes de distribuição.
- **Comercialização**: composta pelas classes de agentes importadores, agentes exportadores, agentes comercializadores e agentes consumidores livres.

Entre outras funções da CCEE, uma é garantir, no ambiente regulado, a contratação conjunta de todos os distribuidores através de leilões, visando permitir economias de escala na compra de energia e a distribuição equilibrada dos riscos e benefícios da contratação. Os contratos, bem como os dados de medição dos pontos de consumo e geração, são registrados na

CCEE pelos agentes. Isto permite à CCEE contabilizar as diferenças entre o que foi produzido ou consumido e o que foi contratado. As diferenças positivas ou negativas são liquidadas ao Preço de Liquidação de Diferenças (PLD).

As relações comerciais entre os agentes participantes da CCEE são regidas predominantemente por contratos de compra e venda de energia, sendo que a liquidação financeira destes contratos é realizada diretamente entre as partes contratantes.

O preço cobrado do consumidor final de energia é resultado não apenas do preço da energia livremente negociada. Além do custo da energia propriamente dita, também são cobrados do consumidor:

- **TUST – Tarifa de Uso do Sistema de Transmissão**: tarifa paga pelo uso da rede básica de transmissão e o custo das conexões entre a empresa produtora e a rede básica e, desta, com a rede local da empresa consumidora.
- **TUSD – Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição**: tarifa onde estão incorporadas as tarifas de demanda (em ponta e fora de ponta) e as tarifas de excedentes reativos.
- **CC – Custo de Conexão**: taxas que visam cobrir despesas com conexão e implantação de sistemas de medição.
- **Perdas Técnicas**: cálculo das perdas na transmissão de energia.

A tarifa de uso da rede básica é estabelecida pela ANEEL, com base nos custos de investimentos no sistema de transmissão e da localização dos pontos de produção e consumo de energia, conforme mostra a figura 3.3.1.2.1.

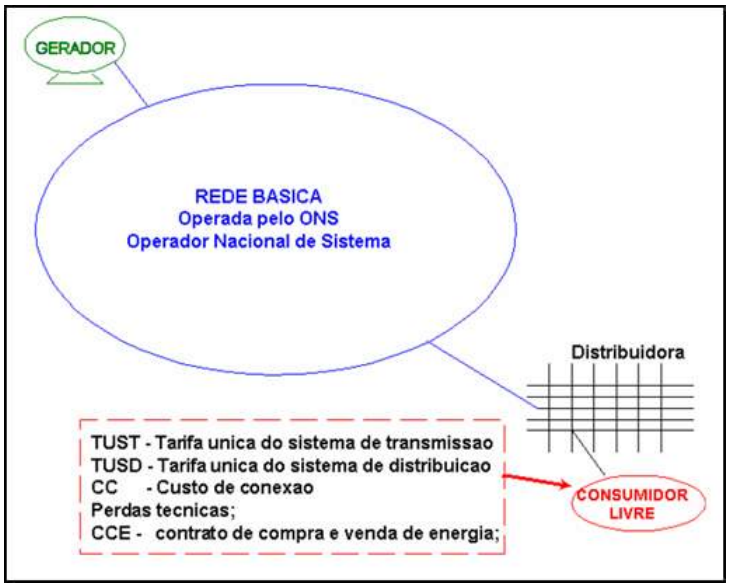

GERADOR
REDE BASICA
Operada pelo ONS
Operador Nacional de Sistema
Distribuidora
TUST - Tarifa unica do sistema de transmissao
TUSD - Tarifa unica do sistema de distribuicao
CC - Custo de conexao
Perdas tecnicas;
CCE - contrato de compra e venda de energia;
CONSUMIDOR LIVRE

Figura 1.2.1 – Esquema tarifário de energia elétrica

Fonte: Engecomp - wwww.engecomp.com.br – acessado 10/07/2005

Assim, enquanto um "consumidor cativo" recebe apenas uma conta de energia, um "consumidor livre" pode receber várias. Normalmente, o "consumidor livre" recebe as seguintes contas de energia:

- Conta referente à parcela cativa (se houver), emitida pela concessionária local.
- Conta referente ao Uso da Rede de Distribuição, emitida pela concessionária local.
- Conta(s) referente(s) ao fornecimento de energia. Um único "consumidor livre" pode comprar energia de quantos fornecedores diferentes desejar. Assim, este item pode ser dividido em inúmeras contas diferentes.

É importante esclarecer que um "consumidor livre" não deixa de ser cliente de sua concessionária local. Esta continuará a receber pela transmissão e distribuição de toda a energia que o consumidor vier a comprar no mercado livre. Ou seja: mesmo para os "clientes livres", a concessionária local continua a ser um importante fornecedor e, portanto continua sendo obrigada a respeitar as portarias de atendimento ao consumidor estabelecidas pela ANEEL. A tabela 1.2.1 abaixo mostra as diferenças de consumidor livre e cativo

	CLIENTE LIVRE	CLIENTE CATIVO
PREÇO	Negocia livremente com o(s) fornecedor(es)	Paga tarifa que for estabelecida pela ANEEL para a sua concessionária local
REAJUSTE	Negocia livremente com o(s) fornecedor(es)	Paga reajuste que sua concessionária conseguir aprovar junto à ANEEL
RISCO DE ATENDIMENTO	Não há risco do cliente ficar sem energia	Não há risco do cliente ficar sem energia
RISCO DE PREÇO	Administrado pelo consumidor, em função do(s)contrato(s) firmado(s) com o(s) fornecedor(es)	Administrado pela ANEEL, sem nenhuma influência do consumidor

Tabela 1.2.1 – Diferença Tarifária Consumidor Livre e Consumidor Cativo
Fonte: Lapa & Franco Apud -Engecomp – wwww.engecomp.com.br – acessado

As comercializadoras de energia são obrigadas a contratar 95% da energia vendida, logo estas precisarão dimensionar o volume de energia total a ser contratado para atender os seus clientes, e para tanto os consumidores livres devem determinar, anualmente, o volume de energia que irão consumir (em MWh).

Como a previsão de consumo de energia não é uma ciência exata, fatalmente poderão ocorrer diferenças entre o valor contratado junto à comercializadora de energia e o valor efetivamente consumido. Tais diferenças são apuradas mensalmente e tratadas de acordo com o definido em cada contrato de fornecimento. Em geral, os contratos abordam este assunto da seguinte forma:

- Se o volume consumido for maior que o contratado, o consumidor pagará à comercializadora o maior valor entre o Valor Normativo (definido pela ANEEL) e o preço *spot* (definido pela CCEE).
- Se o volume consumido for menor que o previsto, o consumidor pagará pelo volume total contratado junto à comercializadora, recebendo da comercializador,

referente à sobra de energia, o menor valor entre o Valor Normativo e o preço *spot* da CCEE.

- O consumidor livre pode gerir plenamente o "insumo" energia elétrica, da mesma forma como administra outros itens relacionados à sua atividade produtiva (mão-de-obra e matérias primas em geral). Note que:
- O cliente livre poderá dispor de contratos de fornecimento com flexibilidade no consumo da energia contratada, sendo assim possível "sazonalizar", para mais ou para menos, os volumes de energia contratada, adequando desta forma seu contrato às oscilações naturais de consumo de energia decorrentes de seu ramo de atividade.
- Eventuais diferenças entre a energia contratada e a energia consumida, para mais ou para menos, podem ser comercializadas livremente pelo consumidor, a preços de mercado, sendo possível efetuar antecipadamente uma operação de compra adicional de energia ou venda de excedente, meses antes do fato consumado, livrando assim o consumidor da exposição à volatilidade dos preços *spot*. Da mesma forma, pode-se estruturar derivativos visando o gerenciamento da posição de energia da empresa, tais como operações de ***swap*** (trocas de energia) e **opções** de compra/venda (direito, mas não obrigação, de comprar/vender energia a preços previamente acordados).

- O consumidor que possui mais de uma unidade industrial pode adquirir um único bloco de energia para todas as suas unidades, gerenciando as diferenças individuais de consumo de forma consolidada, ou seja, se sobrou energia numa unidade, esse montante pode ser alocado para sua(s) outra(s) unidade(s).

Assim, a opção de se tornar consumidor livre é seguramente muito tentadora. Os únicos inconvenientes são as necessidades de ferramentas modernas de monitoramento, e de apoio consultivo técnico/jurídico

2 - Tarifação Horo-Sazonal

Na visão do autor desse trabalho, acredita ser de suma importância apresentar uma síntese tarifária oferecida aos consumidores de médio e grande porte, comerciais e industriais.

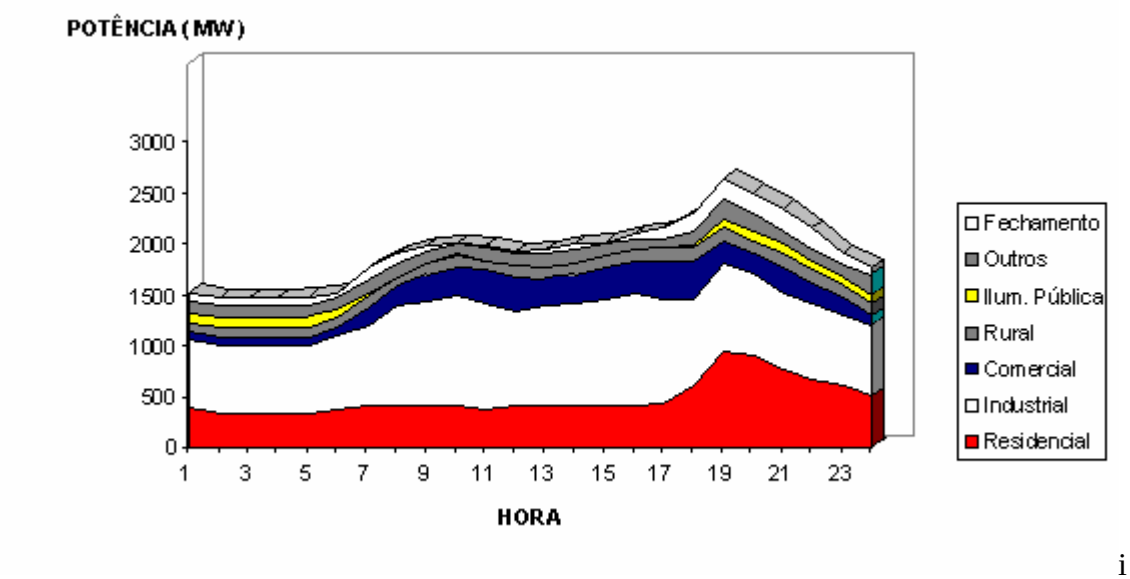
As tarifas de eletricidade em vigor possuem estruturas com dois componentes básicos na definição do seu preço:

- Componente relativo à demanda de potência (quilowatt ou kW)
- Componente relativo ao consumo de energia (quilowatt-hora ou kWh)
- Até 1981, o único sistema utilizado, denominado Convencional, não permitia que o consumidor percebesse os reflexos decorrentes da forma de utilizar a eletricidade, já que não havia diferenciação de preços segunda sua utilização durante as horas do dia e períodos do ano.

Era indiferente para o consumidor utilizar a energia elétrica durante a madrugada ou no final da tarde, assim como consumir durante o mês de junho ou dezembro. Com isso, o perfil do comportamento do consumo ao longo desses períodos reflete uma tendência natural, vinculada exclusivamente aos hábitos de consumo e às características próprias do mercado de uma determinada região.

A figura 2.1 abaixo, mostra o comportamento médio do mercado de eletricidade, ao longo de um dia. Observa-se, no horário das 17 às 22 horas, uma intensificação do uso da eletricidade. Esse comportamento resulta das influências individuais das várias classes de consumo que normalmente compõem o mercado: industrial, comercial, residencial, iluminação pública, rural e outras.

Esse repentino aumento no consumo, é em decorrência da classe residencial, que durante esse período se utiliza intensivamente do chuveiro elétrico, que provoca graves problemas no fornecimento de energia.



i

Figura 2.1 – Comportamento no Horário de Ponta – CPFL

Fonte: GOMAZAKO(2002) Apud - www.green.pucminas.br/CenarioEnergetico

O horário de maior uso, acima identificado, é denominado "horário de ponta" do sistema elétrico, e é justamente o período em que as redes de distribuição assumem maior carga, atingindo seu valor máximo aproximadamente às 19 horas, variando um pouco este horário de região para região do país.

Devido ao maior carregamento das redes de distribuição neste horário, verifica-se que um novo consumidor a ser atendido pelo sistema custará mais à concessionária nesse período de maior solicitação do que em qualquer outro horário do dia, tendo em conta a necessidade de ampliação do sistema para atender ao horário de ponta.

Da mesma forma, o comportamento do mercado de eletricidade ao longo do ano tem características próprias, que podem ser visualizadas na figura 2.2.

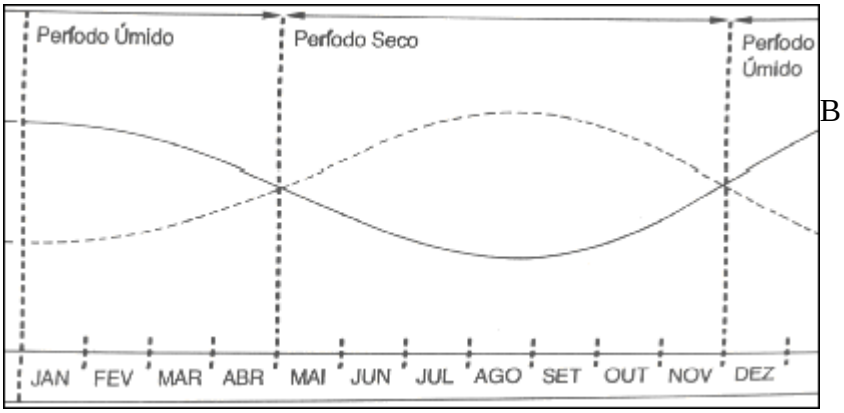


Figura 2.2 – Distribuição da sazonalidade – Período Seco e Período Úmido

Fonte: Engecomp – www.engecomp.com.br – acessado 15/07/2005

A curva A representa a disponibilidade média de água nos reservatórios das usinas hidrelétricas, constituindo o potencial predominante de geração de eletricidade. A curva B representa o comportamento médio do mercado de energia elétrica a nível nacional, assumindo um valor máximo justamente no período em que a disponibilidade de água fluente nos mananciais é mínima.

Este fato permite identificar, em função da disponibilidade hídrica, uma época do ano denominada "período seco", compreendido entre maio e novembro de cada ano, e outra denominada "período úmido", de dezembro de um ano até abril do ano seguinte. O atendimento ao mercado no período seco só é possível em virtude da capacidade de acumulação nos reservatórios das usinas que estocam a água afluente durante o ano.

Assim, o fornecimento de energia no período seco tende, também, a ser mais oneroso, pois leva à necessidade de se construir grandes reservatórios, e eventualmente, operar usinas térmicas alimentadas por energéticos importados.

Devido a estes fatos típicos do comportamento da carga ao longo do dia, e ao longo do ano em função da disponibilidade de água, foi concebida a Estrutura Tarifária Horo-Sazonal, com suas Tarifas Azul e Verde, que compreende a sistemática de aplicação de tarifas e preços

diferenciados de acordo com o horário do dia (ponta e fora de ponta) e períodos do ano (seco e úmido).

2.1 -Principais Definições

- **Horário de Ponta**: corresponde ao intervalo de 3 horas consecutivas, definido por cada concessionária local, compreendido entre as 17 e 22 horas, de segunda à sexta-feira.
- **Horário Fora de Ponta:** corresponde às horas complementares às relativas ao horário de ponta, acrescido do total das horas dos sábados e domingos.
- **Período Seco**: compreende o intervalo situado entre os fornecimentos abrangidos pelas leituras dos meses de maio a novembro de cada ano.
- **Período Úmido**: compreende o intervalo situado entre os fornecimentos abrangidos pelas leituras dos meses de dezembro de um ano a abril do ano seguinte.
- Segmentos ***Horo-Sazonais***: são as combinações dos intervalos de ponta e fora de ponta com os períodos seco e úmido, conforme abaixo:
- Horário de ponta em período seco - **PS**
- Horário de ponta em período úmido **- PU**
- Horário fora de ponta em período seco - **FPS**
- Horário fora de ponta em período úmido **- FPU**

Tarifas de Ultrapassagem: são as tarifas aplicadas à parcela da demanda medida que superar o valor da demanda contratada, no caso de Tarifas Horo-Sazonais, respeitados os respectivos limites de tolerância.

Modulação: corresponde a redução percentual do valor de demanda no horário de ponta em relação ao horário fora de ponta.

Consumidor do Grupo A: são aqueles atendidos em tensão de fornecimento igual ou superior a 2,3 KV ou ligados em baixa tensão em sistema de distribuição subterrâneo mas considerados, para efeito de faturamento, como de alta tensão. Nesta categoria, os consumidores pagam pelo consumo, pela demanda e por baixo fator de potência, mediante três tipos de tarifação: convencional, horo-sazonal azul e horo-sazonal verde.

Consumidor do Grupo B: são os demais consumidores, divididos em três tipos de tarifação: residencial, comercial e rural. Neste grupo, os consumidores pagam apenas pelo consumo medido.

Tolerância de ultrapassagem de demanda: é uma tolerância dada aos consumidores das tarifas horo-sazonais para fins de faturamento de ultrapassagem de demanda. Esta tolerância é de:

- 5% para os consumidores atendidos em tensão igual ou superior a 69 KV.
- 10% para os consumidores atendidos em tensão inferior a 69 KV (a grande maioria), e demanda contratada superior a 100 kW.
- 20% para os consumidores atendidos em tensão inferior a 69 KV, e demanda contratada de 50 a 100 kW.

Para o faturamento da energia elétrica na Tarifação Horo-Sazonal, as concessionárias brasileiras usam medidores eletrônicos de energia com interfaces padronizadas por normas ABNT.

2.2 - Classificação dos Consumidores

Os consumidores de energia podem ser divididos em três categorias:

- ***Consumidores do Grupo B (Baixa Tensão)***: Residências, Iluminação Pública, Consumidores Rurais, e todos os demais usuários alimentados em baixa tensão (abaixo de 600V).
- ***Consumidores do Grupo A (Alta Tensão) Tarifação Convencional***: Pequenas indústrias ou instalações comerciais que não estejam enquadradas na Tarifação Horo-Sazonal (THS), normalmente com demanda abaixo de 300 KW.
- ***Consumidores do Grupo A (Alta Tensão) Tarifação Horo-Sazonal***: Grandes consumidores, alimentados em alta tensão (exceto os do grupo AS), e normalmente com demanda acima de 300 KW (para alguns consumidores, o enquadramento ou não à THS é facultativo).